

VŠB - Technická univerzita Ostrava  
Fakulta strojní  
Katedra mechanické technologie

## Odporové svařování kolejnic Resistance welding of rails

Student: Bc. Michal Křepelka  
Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.

OSTRAVA 2013

## Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Michal Křepelka**  
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství  
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie  
Specializace: 20 Strojírenská technologie  
Téma: **Odporové svařování kolejnic**  
**Resistance Welding of Rails**

Zásady pro vypracování:

1. Proved'te zhodnocení současného stavu svařování kolejnic.
2. Popište vliv parametrů při odporovém svařování kolejnic na výsledné vlastnosti svarového spoje.
3. Navrhněte optimální parametry svařování a tyto ověřte při realizaci svarového spoje.
4. Zhodnoťte dosažené vlastnosti svarových spojů kolejnic.
5. Proved'te diskusi dosažených výsledků.

Seznam doporučené odborné literatury:

KOUKAL, J., ZMYDLENÝ, T. *Svařování I: Učební texty*. 1. vydání. VŠB-TU Ostrava. 2005. 133s. ISBN 80-248-0870-6  
KOUKAL, J., SCHWARZ, D., HAJDÍK, J. *Materiály a jejich svařitelnost: Učební texty*. 1. vydání. VŠB-TU Ostrava. 2009. 240s. ISBN 978-80-248-2025-5  
HRIVNÁK, I. *Teória zvariteľnosti kovov a zliatin*. 1. vydání. VSAV Bratislava. 1989. 344s. ISBN 80-224-0016-5  
ČSN EN ISO 15614-1 *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Zkouška postupů svařování - Část. 1: Obloukové a plamenové svařování ocelé a obloukové svařování niklu a slitin niklu*. Praha: Český normalizační institut, 2005


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.**

Datum zadání: 14.12.2012  
Datum odevzdání: 20.05.2013

  
prof. Ing. Jiří Hrubý, CSc.  
vedoucí katedry



  
doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.  
děkan fakulty

### Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě .....

.....

Podpis studenta

Prohlašuji, že

- jsem byl seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména § 35 - užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 - školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo - diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě .....

.....

Podpis

Jméno a příjmení autora práce:

Bc. Michal Křepelka

Adresa trvalého pobytu autora práce:

Schweitzerova 66, Olomouc, 779 00

## ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

KŘEPELKA, M. *Odporové svařování kolejnic: diplomová práce*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2013, 72 stran. Vedoucí práce: doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.

Diplomová práce se zabývá posouzením kvality svarového spoje železničních kolejnic. Svar kolejnic je proveden metodou odtavovacího stykového svařování. Kvalitativní požadavky svarového spoje byly prověřeny dle požadavků příslušných norem.

V teoretické části je popsán současný stav svařování železničních kolejnic a popsány používané metody svařování. Je zde podrobněji popsána metoda odtavovacího stykového svařování kolejnic, vznikající struktura při odtavovacím stykovém svařování a popsán svařovací stroj. Dále jsou zde popsány metody kontroly svarových spojů.

V experimentální části byly svařeny zkušební vzorky kolejnic dvou rozdílných materiálů přes CrNi mezikus. Byl navržen dochlazovací přípravek k zamezení vzniku nežádoucího poklesu tvrdosti v TOO svaru. Dále byly provedeny kvalitativní zkoušky k ověření svarového spoje dle požadavků normy ČSN EN 14587-3.

## ANNOTATION OF MASTER'S THESIS

KŘEPELKA, M. *Resistance welding of rails: Master Thesis*. Ostrava: VŠB - Technical University Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2013, 72 pages. Thesis head: doc. Ing. Drahomír Schwarz, CSc.

Master thesis is dealing with the quality assessment of the welded joints of rails. The rails weld is made by resistance butt fusion with melting. Quality requirements of the weld joints were checked according to the requirements of the relevant standards.

The theoretical part describes the current state of rails welding and used welding methods. The resistance method of rails welding together with the created structure and the butt fusion device are explained in detail there. Inspection methods of welded joints are presented there too.

In the experimental part the test specimens of two different rail materials were welded via stainless piece. The after-cooling equipment was designed to avoid unwanted drop in hardness of the heat-affected zone (HAZ). In the end qualitative checks were conducted to verify the weld joints according to the standard ČSN EN 14587-3.

# OBSAH

1	Úvod.....	10
2	Představení společnosti DT-Výhybkárna a strojírna, a.s. ....	12
3	Současný stav svařování kolejnic .....	13
3.1	Odporové svařování (odtavovací stykové svařování) .....	13
3.2	Aluminotermické svařování .....	14
3.3	Svařování pod tavidlem.....	15
3.4	Navařování .....	17
4	Odporové svařování .....	18
4.1	Odporové svařování stykové s odtavením .....	19
4.2	Svařování stykové s odtavením kolejnic.....	20
4.2.1	Základní podmínky pracovního postupu .....	21
4.2.2	Pravidla pro odtavovací stykové svařování kolejnic .....	21
4.2.3	Konečná úprava profilu svaru .....	22
4.3	Struktura svarového spoje při odporovém svařování.....	23
5	Svařovací stroj pro odtav. styk. svař. typ GAA 100/580.....	25
5.1	Pracovní princip .....	25
5.2	Součásti svařovacího zařízení .....	25
5.2.1	Usměrňovací skupina.....	25
5.2.2	Svářečka.....	26
5.2.3	Hydraulický agregát.....	27
5.2.4	Řídicí skříň zařízení .....	27
5.2.5	Přídavné komponenty .....	28
5.3	Systém řízení a monitorování.....	28
6	Metody kontroly svarových spojů .....	31
6.1	Druhy vad ve svarech.....	31
6.2	Destruktivní zkoušení svarových spojů .....	31
6.3	Nedestruktivní zkoušení svarových spojů.....	35
	<i>Experimentální část</i> .....	38
7	Zhotovení zkušebních vzorků .....	38
7.1	Úvod.....	38
7.2	Rozbor použitých materiálů pro zkušební vzorky .....	39
7.2.1	Mn srdcovka (materiál 13Mn-B) .....	39
7.2.2	CrNi mezikus (materiál X8CrNi20-8) .....	41
7.2.3	Kolejnice 60E1 (jakosti R350HT) .....	42

7.3	Svaření zkušebních vzorků .....	43
7.3.1	Návrh optimálních parametrů .....	43
7.3.2	Zařízení k řízenému ochlazování .....	44
7.3.3	Svaření zkušebních vzorků .....	44
8	Provedení zkoušek zkušebních vzorků .....	48
8.1	Vizuální kontrola .....	48
8.2	Kapilární zkouška .....	48
8.3	Zkouška tvrdosti .....	49
8.3.1	Kontrola tvrdosti vzorku VZ-1 .....	49
8.3.2	Kontrola tvrdosti vzorku VZ-2 .....	51
8.4	Zkouška ohybem .....	53
8.5	Únavová zkouška .....	54
8.5.1	Zkouška k ověření úrovně povrchového napětí v patě kolejnice .....	56
8.6	Zkouška makrostruktury .....	57
8.7	Zkouška mikrostruktury .....	60
9	Závěr .....	67
10	Seznam použité literatury .....	69
11	Seznam obrázků .....	71
12	Seznam tabulek .....	72
13	Seznam příloh .....	72

## Seznam použitých značek a symbolů

### Zkratky:

ČD	České dráhy
ČSN	Česká státní norma
DP	Dopravní podnik
DZS	Dynamický zkušební stav
EN	Evropská norma
ISO	Mezinárodní organizace pro normalizaci
PH	Pojížděná hrana
RL	Referenční linie
RT	Prozařovací zkouška
SŽDC	Správa železniční dopravní cesty
TN	Technické normy
TNŽ	Technické normy a předpisy ČD
TOO	Tepelně ovlivněná oblast
TP	Technologický předpis
TPD	Technické podmínky dodací
UIC	Mezinárodní železniční unie
VD	Výkresová dokumentace
VÚŽ	Výzkumný Ústav Železniční
ZMB	Zkrácený monoblok - odlévaná srdcovka z bainitické oceli
ZPT	Monoblok - odlévaná srdcovka z oceli s vysokým obsahem Mn

### Označení veličin:

$A_5$	Tažnost [%]
$F$	Síla měřená integrovaným snímačem síly hydraulického válce [kN]
$F_{\max}$	Síla v okamžiku destrukce zkušebního vzorku [kN]
$F_{\min}$	Minimální přípustná hodnota síly při destrukci zkušebního vzorku [kN]
$R_e$	Pevnost v kluzu [MPa]
$R_m$	Pevnost v tahu [MPa]
$s$	Dráha pístu hydraulického válce [mm]
$s_{\max}$	Průhyb zkušebního vzorku v okamžiku jeho destrukce [mm]
$s_{\min}$	Minimální průhyb zkušebního vzorku při jeho destrukci [mm]
$\sigma$	Povrchové napětí v patě kolejnice [MPa]



Chemické značky:

Al	Hliník (Aluminium)
C	Uhlík (Carboneum)
Co	Kobalt (Cobaltum)
Cr	Chrom (Chromium)
Cu	Měď (Cuprum)
Fe	Železo (Ferrum)
Mn	Mangan (Manganum)
Mo	Molybden (Molybdaenum)
N	Dusík (Nitrogenium)
Nb	Niob (Niobium)
Ni	Nikl (Niccolum)
P	Fosfor (Phosphorus)
S	Síra (Sulphur)
Si	Křemík (Silicium)
V	Vanad (Vanadium)

# 1 Úvod

Ve skutečnosti není žádný kovový materiál zhotovený běžnými technickými postupy bez vad (pokud není vyroben pokusně v laboratoři za zvláštních podmínek). V každém kovovém materiálu je již od výroby, na úrovni krystalových mřížek, atomů a zrn, velké množství submikroskopických vad, které zcela zásadně ovlivňují vlastnosti každého kovového materiálu. Takové vady obsahují všechny technicky vyrobené materiály a proto si to mnohdy ani neuvědomujeme a zaměřujeme se hlavně na vady makroskopické, které jsou snadněji zjištěitelné a jsou pochopitelnější. V praxi jsou většinou kontrolovány jen vady makroskopické, které jsou mnohem snáze zjištěitelné běžnými technickými prostředky (vizuálně, kapilární zkouškou, ultrazvukem atd.) a které podstatně určují tu část užitných vlastností, kterou můžeme technicky ovlivnit, například správnou technologií svařování.

Vadou výrobku obecně rozumíme každou odchylku od vlastností předepsaných technickými normami, technickými podmínkami nebo podmínek domluvených smluvně (např. výrobce/zákazník). Vady výrobku mohou být zjevné, které lze zjistit při prohlídce výrobku pouhým okem nebo jednoduchými pomůckami nebo skryté, které obvykle zjistíme pomocí přístrojů nebo laboratorními zkouškami. Podle ustanovení příslušných předpisů mohou být vady přípustné nebo nepřípustné. Vady přípustné jsou takové, které normy, technické podmínky nebo smluvní vztah dovoluje a jejich odstranění není nutné. Vady nepřípustné jsou takové, které neodpovídají povoleným hodnotám. Tyto vady mohou být buď opravitelné, nebo neopravitelné.

Problémy (vady) vznikající u všech procesů svařování se převážně týkají necelistvostí. Defekty vyskytující se ve svarových spojkách a návarech můžeme rozdělit do dvou hlavních skupin. Jsou to vady plošné a objemové. První skupina tvoří vady typu trhlin, neprůvarů a studených spojků, do druhé potom patří vady typu pórů, bublin, kovových i nekovových vměstků, ale také zápaly, vruby, nedodržení rozměrů a nepravidelnost povrchu svarů.

Při výstavbě III. a IV. železničního koridoru v ČR jsou použity v obloucích malých poloměrů kolejnice jakosti R350HT. Tyto kolejnice mají zvýšenou tvrdost pojížděných ploch, tak aby lépe odolávaly nepříznivým účinkům železniční dopravy v obloucích malého poloměru. S tím vznikají i požadavky na technologii jejich svařování. Při kontrole se zjistilo, že v oblasti svarů kolejnic jakosti R350 HT dochází vlivem ohřátí konců kolejnic u spojků zhotovených stykovým svařením s odtavením k poklesu výchozí povrchové tvrdosti kolejnic. [16] [19]

Cílem experimentální části této diplomové práce je navrhnout a následně prověřit parametry stykového svařování s odtavením monoblokových srdcovek z Mn oceli s přípojnými kolejnicemi jakosti R350HT profilu 60E1 přes CrNi mezikus na stroji Schlatter GAA 100/580. CrNi mezikus je použit z důvodu špatné svařitelnosti Mn oceli s vysokouhlíkovou ocelí vignolových kolejnic, vložení CrNi mezikusu nám umožní spolehlivé svaření těchto dvou rozdílných materiálů. Pro zkušební vzorky bude srdcovka z Mn oceli nahrazena odlitkem ze stejného materiálu, odlitek bude opracován do tvaru kolejnice 60E1. Při návrhu svařování kolejnic 60E1 jakosti R350HT bude navrženo takové technologické opatření, které zamezí vzniku nežádoucího poklesu povrchové tvrdosti v TOO svaru v materiálu kolejnice jakosti R350HT.

Kvalita svarového spoje a kontrola navržených parametrů svařování, bude ověřena zkouškami dle požadavků příslušných norem.

## **2 Představení společnosti DT-Výhybkárna a strojírna, a.s.**

Současným nosným výrobním programem společnosti DT-Výhybkárna a strojírna, a.s., se sídlem v Prostějově, je výroba železničních a tramvajových, důlních a polních výhybek, křižovatek a objektů vč. jejich komponent. DT-Výhybkárna a strojírna, a.s. má téměř padesátiletou tradici. Společnost má i vlastní vývojové centrum, zabezpečuje servis po dobu životnosti svých výrobků a také regeneraci výhybkových konstrukcí. Největší část produkce je soustředěna do organizačního celku, kterým je závod Výhybkárna.

V roce 2002 byla založena dceřiná společnost DT - Slovenská výhybkáreň, a.s., prostřednictvím které jsou realizovány dodávky železničních výhybkových konstrukcí pro železnice Slovenské republiky.

Vývoji výhybek se věnuje na závodě Výhybkárna velká pozornost, zejména v aplikaci nových materiálů a technologií, zvyšujících kvalitu a životnost výrobků. V rámci zajištění komplexních služeb železničních výhybek DT pro tuzemské a zahraniční obchodní partnery se snaží vyvinout vlastní závěrový systém pod označením řady DTZ.

V oblasti výroby výhybek a kolejových konstrukcí pro tramvajovou dopravu se úsilí společnosti soustřeďuje na výhybky nové generace, uplatňující moderní konstrukční prvky a aplikace nových materiálů a technologií, zvyšující kvalitu a životnost výrobků. Do výrobního programu patří kromě tramvajových výhybek i další konstrukce, především:

- kolejové křižovatky,
- rozřazovací výhybky,
- vícenásobná kolejová odbočení - tzv. "harfy",
- kolejové oblouky,
- přechodové kolejnice,
- dilatační zařízení.

V rámci zajišťování komplexních dodávek tramvajových výhybek vyrábí závod Strojírna stavěcí skříně pro tramvajové výhybky. [18]

### 3 Současný stav svařování kolejnic

Svařování kolejnic je prováděno několika různými metodami, ty nejpoužívanější jsou uvedeny v následujících kapitolách. Problematika svařování kolejnic je velmi rozsáhlá. Rozdílné metody svařování vyžadují různé postupy, požadavky na strojní vybavení, proškolení obsluhy, atd. Rozdílné požadavky jsou kladeny také při svařování železničních kolejnic nebo tramvajových kolejnic, nebo v případě svařování v závodě či přímo v trati. Jiné požadavky a technologie svaření potřebujeme také v případě svařování dvou kolejnic ze stejného materiálu nebo v případě svaření dvou rozdílných materiálů.

#### 3.1 Odporové svařování (*odtavovací stykové svařování*)

Metoda je označena číslem 24. Odporové svařování je svařování s použitím tlaku. Využívá se při něm teplo vznikající při průchodu elektrického proudu svařovanými díly. Část tepla vzniká odporem v místě dotyku a část ohmickým odporem materiálu. Při odporovém svařování se nepoužívají přídavné materiály, svar se vytvoří roztavením a opět ztuhnutím určité části základního materiálu. Používaný proud má vysokou intenzitu (až 100 000 A) a nízké napětí (5 až 15 V). Proud se přivádí induktivně pomocí elektrod ze slitin mědi. Podrobnější popis a rozdělení metod odporového svařování je popsán v kapitole 4, této diplomové práce. [15]

Při svařování dílů výhybek se převážně využívá technologie svařování stykově s odtavením. V oblasti výhybek se svařuje touto metodou tento sortiment:

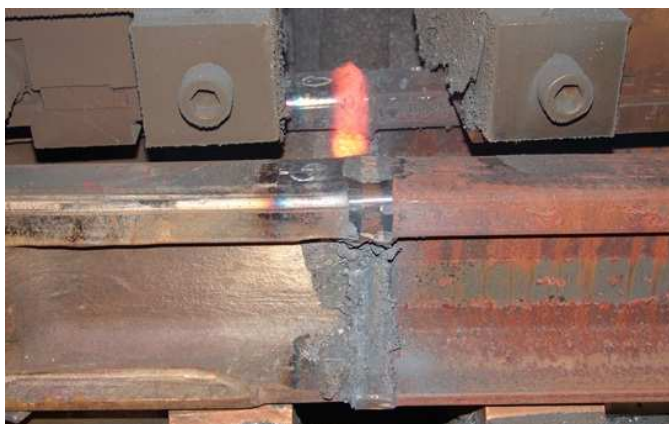
##### U železničních výhybek:

- součásti kolejnicového typu - jazyky, hrotové kolejnice, přechodové kolejnice,
- srdcovky s kaleným kovaným klínem jakosti 15 260.9,
- srdcovky s kaleným klínem jakosti R260 polského provedení,
- srdcovky svařované z plnoprofilových kolejnic,
- odlévané srdcovky z bainitické oceli Lo8CrNiMo typu ZMB1, ZMB2,
- odlévané srdcovky z bainitické oceli Lo17MnCrNiMo typu ZMB3,
- odlévané srdcovky z Mn oceli typu ZPT,
- blokové srdcovky.

##### U tramvajových výhybek:

- svařované jazyky,
- součásti kolejnicového typu - přechodové kolejnice, svařované přídržnice,
- srdcovky ze žlábkových kolejnic běžné jakosti R200 nebo R220G1,

- srdcovky z odlévaných náběžných kolejnic z bainitické oceli Lo8CrNiMo,
- blokové srdcovky různých tvarů a provedení podle požadavku DP,
- blokové půlvýměny různých tvarů a provedení podle požadavku DP.



**Obr. 3.1** Svaření přípojných kolejnic k odlitku srdcovky - stykově s odtavením

### **3.2 Aluminotermické svařování**

Aluminotermické svařování (AT svařování) patří do skupiny tzv. nekonvenčních metod svařování (ostatní metody svařování). Metoda je označena číslem 71, nazývá se „svařování termitem“ nebo „aluminotermické svařování“. Zdrojem tepla je exotermická reakce směsi práškového hliníku a oxidu železitého (termit).

Termit je pyrotechnická směs, hořící vysokou teplotou. Označení termit se používá především pro směs práškového hliníku a oxidu železitého, ale i pro jiné pyrotechnické směsi s práškovým kovem a oxidem jiného kovu. Hoření termitu je založeno na aluminotermické reakci, kde redukční činidlo je práškový hliník a oxidační činidlo oxid kovu. Reakce hoření termitu je typická tím, že při ní vzniká vysoká teplota 2 000 až 3 000 °C, hoření probíhá bez vzniku plyných zplodin (bezplamenné hoření) a struska je v tekutém stavu. Termit hoří i bez přístupu vzdušného kyslíku a dokonce i pod vodou.

Aluminotermické svařování se v praxi používá pro svařování železničních a tramvajových kolejnic, rozměrných profilů nebo pro opravy vadných odlitků, výkovků a prasklých součástí.

V současné době je tato metoda nejrozšířenějším způsobem svařování železničních kolejnic. Základem této technologie je aluminotermická směs, která po zapálení v kotlíku (např. pomocí snadno vznětlivého peroxidu barya) reaguje a vytvoří taveninu. Poté dojde k samočinnému odpichu a tato směs se vypustí do předem připravené formy na kolejnicovém spoji. Po ztuhnutí se přebytečný materiál ořízne. Hotový svar se obrousí bruskou do požadovaného profilu.

Rychlost průběhu reakce závisí na velikosti zrn hliníku, čím jsou zrna jemnější, tím je průběh reakce rychlejší. Při velmi jemném hliníkovém prášku nastane velmi rychlý průběh reakce - výbuch. Proto se do směsí termitových dávek přidávají okuje, které při reakci sníží teplotu a také zvýší výtěžnost železa. Dále se do směsí přidávají legující přísady (grafit, mangan), které zaručí kvalitu přídavného materiálu.



**Obr. 3.2** *Aluminotermické svařování - blok svařený s přípojnými kolejnicemi*

### **3.3 Svařování pod tavidlem**

Metoda je označena číslem 121. Použití této technologie svařování má řadu předností a výhod, jak z hlediska produktivity práce, tak z hlediska kvality svaru a v neposlední řadě hygienických a ekologických hledisek.

Princip metody spočívá v hoření oblouku, který hoří mezi základním materiálem a přídavným materiálem (svařovací drát nebo páska) pod vrstvou tavidla. Svařovací drát se odtavuje a do místa svaru je podáván kladkami. Při natavování tavidla vzniká struska, která je lehčí než svarový kov a stoupá na povrch svarové lázně. Zvolna tuhne a vytváří uzavřený prostor, který je vyplněn plyny a parami vzniklými při natavování tavidla. Těmito plyny je potom zajištěna dokonalá ochrana svarové lázně proti účinkům atmosféry.

Pojíždění automatu i podávání drátu je zajištěno automaticky podle předem nastavených parametrů. Proto jsou u této technologie svařování kladeny vyšší nároky na pečlivé slícování a přípravu polotovaru, čistotu svarových ploch a dále použití vhodných nosných konstrukcí automatů a vhodných upínacích přípravků. Aby bylo možné dosáhnout optimálních svařovacích parametrů a maximální produktivity, používá se pro technologii svařování pod tavidlem ve velké míře různých typů podložek.

Pro technologii svařování pod tavidlem je třeba používat výkonné zdroje proudu, které umožňují dosažení potřebných parametrů. Používají se jak stejnosměrné, tak střídavé zdroje. Pro slabší materiály je vhodné používat stejnosměrné zdroje, protože mají dobrou stabilitu oblouku. Zdroje proudu volíme také s ohledem na podmínky regulace délky oblouku a rychlosti podávání drátu. [15]

### Přídavné materiály a tavidla

Jako přídavných materiálů se používá drátů, plněných elektrod, pásek (většinou pro navařování) a vhodného druhu tavidla. Kombinace jsou voleny tak, aby bylo dosaženo optimálního složení svarového kovu, jehož složení se bude co nejvíce blížit složení základního materiálu. [15]

Tavidlo je zrnitá, krystalická hmota, která prakticky nahrazuje funkci obalu u obalené elektrody. Zajišťuje tedy dezoxidaci, rafinaci, stabilitu hoření a metalografické procesy. Tavidla lze rozdělit z několika hledisek:

- podle chemického složení (křemičitá, fluoritová, manganatá),
- podle struktury (sklovitá, pemzovitá),
- podle technologie výroby (tavená, keramická, aglomerovaná, sintrovaná),
- podle metalurgie procesu (bazická, kyselá, neutrální).

Metoda svařování pod tavidlem se v oblasti výhybek využívá například k podélnému svařování přípojných kolejnic u srdcovek (Obr. 3.3).



**Obr. 3.3** Svařování přípojných kolejnic



### 3.4 Navařování

Zvláštní kapitolou v oblasti svařování výhybek je navařování. Navařování je převážně využíváno při regeneracích, opravách porušených míst (ojetí, vydrolení, atd.). Ve výhybkách se navařování provádí zejména na pojížděných plochách jazyků a srdcovek (hroty a křídlové kolejnice).

Před samotným navařováním se provede broušení poškozeného (nevyhovujícího) místa, očištění a následně samotný návar.

#### Navařování montovaných srdcovek železničních výhybek v trati:

- technologie navařování montovaných srdcovek z kolejnic,
- technologie navařování srdcovek s kovaným kaleným klínem jakosti R260,
- technologie navařování srdcovek s kovaným kaleným klínem jakosti 15 260.9,
- technologie navařování hrotů srdcovek Vario.

#### Navařování odlévaných srdcovek železničních výhybek v trati:

- technologie navařování srdcovek z bainitické oceli Lo8CrNiMo,
- technologie navařování srdcovek z bainitické oceli Lo17MnCrNiMo,
- technologie navařování srdcovek z austenitické vysokomanganové oceli Mn13,
- technologie navařování oblasti svarů Mn srdcovek s přípojnými kolejnicemi.



**Obr. 3.4** Provedený návar na Mn srdcovce

## 4 Odporové svařování

Odporové svařování je svařování s použitím tlaku. Využívá se při něm teplo vznikající při průchodu elektrického proudu svařovanými díly. Část tepla vzniká odporem v místě dotyku a část ohmickým odporem materiálu. Při odporovém svařování se nepoužívají přídavné materiály, svar se vytvoří roztavením a opět ztuhnutím určité části základního materiálu. Používaný proud má vysokou intenzitu (až 100 000 A) a nízké napětí (5 až 15 V). Proud se přivádí induktivně pomocí elektrod ze slitin mědi.

Pro odporové svařování jsou vhodné nízkouhlíkové oceli s obsahem uhlíku do 0,22 %. Odporově lze také svařovat oceli austenitické, niklové slitiny, kombinace materiálů (např. ocel nízkouhlíková s ocelí nástrojovou). Odporově se svařují i materiály pozinkované a pocínované, aniž by se výrazně porušila pokovená vrstva. Odporovým svařováním spojovat měď, hliník a jejich slitiny je obtížné z důvodů jejich velké tepelné vodivosti. U hliníku je navíc problematické odstraňování jeho oxidu z povrchu svařovaného dílu před svařováním. Přítomný oxid hliníku má velký elektrický odpor a vysokou teplotu tavení, to brání vytvoření dokonalého svarového spoje. Podíl odporového svařování na celkovém objemu svářečských prací je v průmyslově vyspělých zemích asi 20 %. Je určeno především pro hromadnou výrobu, pro kusovou výrobu není využití této metody příliš ekonomické, vzhledem k vyšším investicím na zařízení.

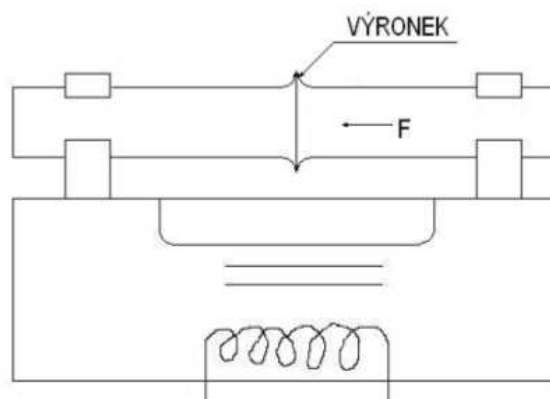
Odporové svařování je vysoce produktivní a provedené spoje jsou výborné kvality. Proces je možné jednoduše automatizovat, to přináší výhody a úspory. Typickým odvětvím, které využívá vysokou produktivitu odporového svařování, je automobilový průmysl, kde jsou odporové bodové svary hlavním spojovacím prvkem. [15]

Podle tvaru a uspořádání elektrod a podle způsobu přenosu proudu je možné odporové svařování rozdělit na:

- a) odporové svařování bodové,
- b) odporové svařování švové,
- c) odporové svařování na lisech,
- d) odporové svařování stykové s odtavením (kapitola 4.1),
- e) odporové svařování stykové stlačením.

## 4.1 Odporové svařování stykové s odtavením

Svařování stykové s odtavením se značně liší od ostatních způsobů odporového svařování tím, že při něm svařovací proud prochází při nedokonalém kontaktu dílů, kdy je jejich vzájemné stlačení malé. Princip svařování s odtavením je znázorněn na Obr. 4.1. Podmínkou je, aby stykové průřezy byly stejné co do tvaru i velikosti.



**Obr. 4.1** Princip metody - svařování stykové s odtavením [15]

Při svařování odtavením se mohou použít následující dva způsoby svařování:

1) *Přímé stykové svařování odtavením* má tyto pracovní fáze:

- Odtavování, při kterém se svařované díly k sobě stále přibližují. Na začátku svařování je mezera mezi díly malá, proud jimi proto neprochází a vzhledem k malému svařovacímu napětí (např. 3 V) se nemůže vytvořit oblouk. Při postupném přibližování dílů nastane v některém místě nedokonalý kontakt, materiál se okamžitě ohřeje, roztaví a vystříkne ze spoje. Proces ohřevu se neustále opakuje na dalších místech průřezu. Fáze odtavování končí tím, že se na čelech svařovaných dílů vytvoří vrstva roztaveného kovu a materiál spojovaných dílů je prohřátý do určité hloubky.
- Stlačování, které je prudké a po něm následuje s malým zpožděním vypnutí proudu. Část roztaveného kovu se ze spoje vytlačí a vytvoří výronek (Obr. 4.1).

2) *Stykové svařování odtavením s předehřevem*, při kterém se před fáze odtavování a stlačování předřadí předehřev. Ten se může provést buď pomocí indukčního ohřevu, nebo se častěji provádí tak, že se využije samotný svařovací transformátor a před fází odtavování se díly několika reverzačními pohyby zkratují a rozpojí. Svařování s předehřevem se používá při svařování větších průřezů nebo u legovaných ocelí.

Při svařování s odtavením se vytvoří jakostní svar, protože se nečistoty z povrchu odstříknou spolu se zoxidovaným kovem. Páry roztaveného kovu vytváří při svařování ochrannou atmosféru, která zabrání přístupu dusíku a kyslíku do svařovaného kovu.

Parametry při svařování stykovém s odtavením jsou:

- svařovací proud (pohybuje se okolo  $20 \text{ A/mm}^2$ , to je zhruba desetkrát méně, než u ostatních způsobů odporového svařování),
- rychlost odtavování (obvykle bývá 1 až 5 mm/s),
- přítlačný tlak.

Samotné parametry svařování závisí na celé řadě veličin, jako je např. velikost svařovaného průřezu, materiál dílů, způsob přehřevu. Výronek se z vnější strany v případě potřeby může např. osoustružit. Z vnitřní strany se výronek někdy odstraňuje již při samotné operaci svařování pomocí profukování vzduchem nebo plynem (např. argon).

Svařování stykové s odtavením se používá pro spojování trubek, pro výrobu parních generátorů. Jedná se přitom o trubky o průměru 25 až 60 mm o tloušťce stěny 3 až 6 mm z ocelí nízkolegovaných i žárupevných vysokolegovaných. Dalším příkladem jsou kolejnice (svařované plochy dosahují  $76,7 \text{ cm}^2$  - u 60E1), ráfky s rámy motocyklů, velké nástroje ze dvou různých materiálů, rámy dveří atd. [15]

## **4.2 Svařování stykové s odtavením kolejnic**

Železniční i tramvajové kolejnice, obvyklých jakostí (R260), se běžně svařují na stacionárních svářečkách v závodě, ale i mobilními svářečkami přímo v trati bez výrazných komplikací s jakostními požadavky na svar. Problémy vznikají při svařování kolejnic vyšších jakostí, jako je např. R350HT, R320Cr. Tyto kolejnice mají zvýšenou tvrdost pojížděných ploch, tak aby lépe odolávaly nepříznivým účinkům železniční dopravy v obloucích malého poloměru. S tím vznikají i požadavky na technologii jejich svařování. V oblasti svarů kolejnic jakosti R350HT dochází vlivem ohřátí konců kolejnic u spojů zhotovených stykovým svařením s odtavením k výraznému poklesu výchozí povrchové tvrdosti kolejnic.

Při stykovém svařování s odtavením kolejnic je tepelně ovlivněná oblast velmi úzká. Negativně na povrchovou tvrdost kolejnic působí ohřev konců kolejnic, ke kterému dochází při odtavování konců kolejnic a následném samovolném ochlazování kolejnic.

Při ohřevu a samovolném ochlazování okolním vzduchem dochází k popuštění zakalené vrstvy povrchově tvrzených kolejnic a tím ke snížení povrchové tvrdosti. [16]

#### **4.2.1 Základní podmínky pracovního postupu**

Kolejnice se svařují pomocí stabilní svářečky ve stabilní svařovně nebo mobilní svářečkou v koleji.

Konce kolejnic musí být zařezány. Řezy kolejnic musí být kolmé k podélné a svislé ose kolejnice. Čela svařovaných kolejnic a kontaktní plochy na celé ploše dotyku s čelistmi svářečky musí být očištěny do kovového lesku bezprostředně před svařením, aby byl zabezpečen nízký přechodový odpor elektrického proudu vysoké intenzity v sekundárním obvodu stroje, který má vliv na:

- správný průběh svařovacího cyklu,
- kvalitu svaru,
- ekonomické využití elektrické energie,
- prodloužení životnosti upínacích čelistí.

Čela svařovaných kolejnic se umístí ve středu vzdálenosti mezi upínací čelisti na doraz k sobě tak, aby se dosáhlo stejného vyložení obou konců, protože ohřev konců kolejnic musí být rovnoměrný a nesmí dojít k nadměrnému ohřevu jednoho konce vůči nedostatečnému ohřevu druhého konce. Dále musí být konce svařovaných kolejnic vyrovnány směrově a výškově. Konečné ustavení, před upnutím do čelistí svářečky, se kontroluje vizuálně nebo pomocí vodováhy s laserem. Vlastní svařování kolejnic se děje podle přednastaveného programu a svářeč kontroluje průběh svařovacího cyklu. [11]

#### **4.2.2 Pravidla pro odtavovací stykové svařování kolejnic**

U svarů kolejnic stejného profilu se svarový výronek po celém obvodu seřízne ihned po svaření ještě za tepla (min. 820 °C). U přechodových svarů se svarový výronek odstraní strojně nebo ručně pneumatickými kladivy i po celém obvodu kolejnice a obrousí se nahrubo s přídavkem 0,5 mm pro broušení načisto.

Z důvodu dosažení požadované tvrdosti na hlavě u kolejnic jakosti R350HT musí být kolejnice v místě svaru řízeně ochlazovány. K chlazení musí dojít do 60 s po ukončení stlačení. Pokud tento čas není dodržen, není zaručena požadovaná tvrdost a svar je nutno vyříznout a kolejnice svařit znovu. V průběhu chlazení prvních 80-ti sekund musí být teplota hlavy kolejnice snížena z 800 °C na 500 °C. Chlazení se provádí stlačeným

vzduchem o objemu 100 Nm<sup>3</sup>/h a tlaku 0,6 až 0,7 MPa. Čas a teplotu musíme v průběhu ochlazování kontrolovat. Další ochlazování probíhá volně na vzduchu.

U svarů srdcovek se svarový výronek oseká ihned za tepla na hlavě i patě ručně pneumatickými kladivy a obrousí se nahrubo s přídavkem 0,5 mm pro broušení načisto. Výronky v komorách se obrobí po vychladnutí svarů. Povrch svaru po opracování musí být čistý, bez záseků nebo zábrusů. [11] [16]



**Obr. 4.2** *Odstranění svarového výronku*

#### **4.2.3 Konečná úprava profilu svaru**

Konečná úprava povrchu svaru musí být provedena v podélném směru pomocí opracování (broušení). Mez drsnosti v oblasti svaru musí být:

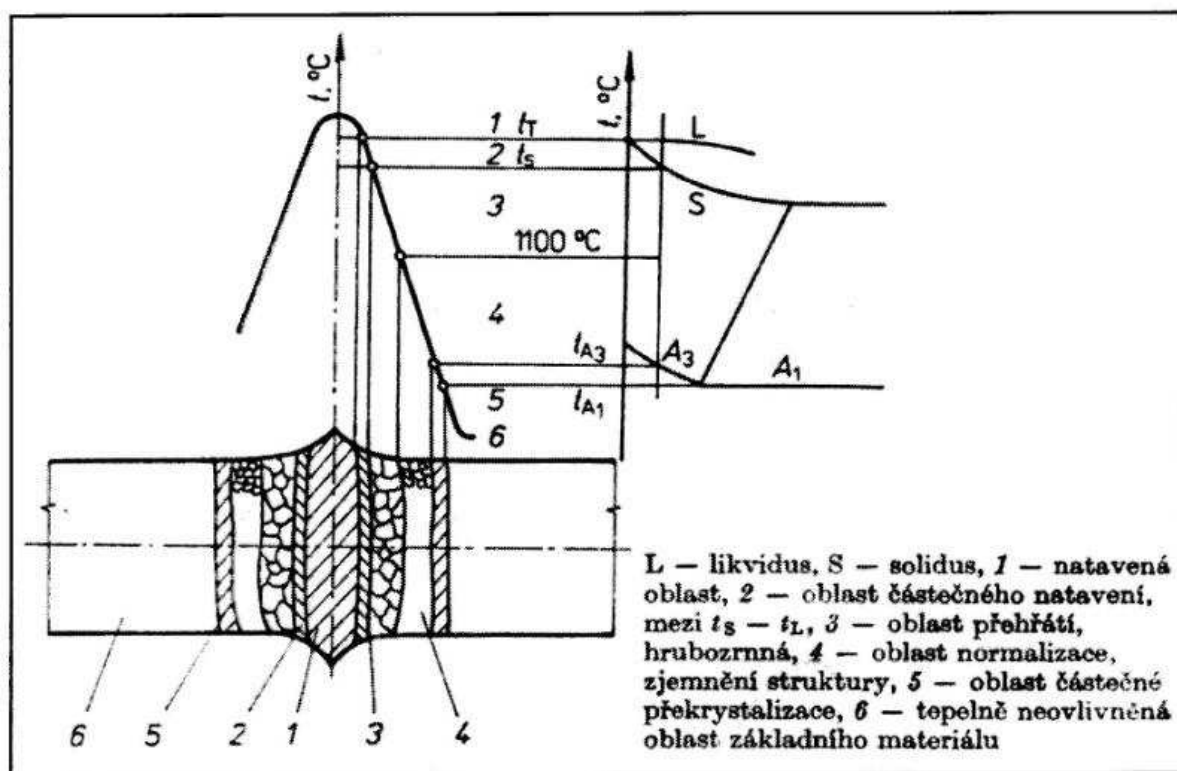
- 6,3 μm Ra na spodní straně svažené paty kolejnice a v oblasti kontaktu kola,
- 12 μm Ra na všech ostatních dokončených plochách.

Konečná úprava profilu nesmí způsobit jakékoli tepelné nebo mechanické poškození. Při konečné úpravě profilu musí být v oblasti kontaktu zachován profil kolejnice. Zbývající svarové plochy musí plynule přecházet do profilu okolního materiálu, aby se vyloučil vznik lokální koncentrace napětí. Konečná úprava hlavy kolejnice musí být provedena na nejkratší možné délce, ale v žádném případě nesmí překročit 900 mm. [2]

### 4.3 Struktura svarového spoje při odporovém svařování

*Tepelně ovlivněná oblast* - vzniklé teplo roztaví určitý objem svařovaného základního materiálu a zároveň ohřeje zákl. materiál v bezprostřední blízkosti hranice ztavení. Tím dochází k natavení i určité oblasti základního materiálu. S rostoucí vzdáleností od hranice ztavení teplota klesá až na původní teplotu zákl. materiálu před svařováním. Pokud byl použit předehřev před samotným svařováním, potom teplota v TOO se vzdáleností klesá až na teplotu předehřevu. Krátkodobý ohřev zákl. materiálu v širokém teplotním rozmezí (teplota okolí nebo předehřevu až teplota tavení materiálu) způsobuje, že v různých místech na různé teploty ohřátém materiálu budou i různé rychlosti ochlazování. Poté vznikne po obou stranách od osy svaru plynule se měnící pásmo teplot. [4] [14]

Podle maximální teploty  $T_{\max}$  rozdělujeme svarový spoj ocelí s úplnou přeměnou  $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$  na několik dílčích pásem (Obr. 4.3):



Obr. 4.3 Struktura svarového spoje [4]

Poz. 1 - Svarový kov. Část svarového spoje zahřátá nad teplotu likvidu  $T_L$ .

Poz. 2 - Oblast částečného natavení. Úzká zóna přechodového pásma, zahřátá na teplotu  $T_s$  a  $T_L$ , oddělující svarový kov od TOO. V této oblasti dochází k intenzivním

difúzním procesům, které mají vliv na lokální obsah uhlíku, dusíku a případně procesy spojené s absorpcí plynů.

Poz. 3 - Oblast přehřátí. Tato oblast přehřátí se vyznačuje výrazným hrubnutím zrna, je definována rozmezím teplot  $T_{př}$  až  $T_S$ .

Poz. 4 - Oblast normalizace. Tato oblast je definována rozmezím teplot  $T_{př}$  až  $A_{C3}$ . Nižší teplota a krátký čas setrvání nad teplotou  $A_{C3}$  způsobí, že austenitické zrno nestihne zhrubnout a spolu se značnou rychlostí ochlazování umožní získat jemnozrnnou strukturu (po ochlazení). Mech. vlastnosti pásma jsou velmi dobré.

Poz. 5 - Oblast částečné překrystalizace. Tato oblast je definována rozmezím teplot  $A_{C1}$  až  $A_{C3}$ .

Poz. 6 - Tepelně neovlivněná oblast zákl. materiálu. Tato oblast je definována rozmezím teplot  $A_{C1}$  až po teplotu prostředí nebo teplotu předehřevu. Podle dosažené teploty v něm mohou nastávat precipitační procesy včetně stárnutí.

*Fázové změny při ochlazování* - klesne-li teplota oceli pod teplotu  $A_{C3}$ ,  $A_{C1}$ , dojde k přeměně austenitu. Základní změnou je přeměna železa  $\gamma$  na železo  $\alpha$ , zde dochází také ke značné změně rozpustnosti uhlíku v tuhém roztoku. Základními přeměnami jsou: [4]  
[14]

- Perlitická přeměna - je jedním z produktů eutektoidních rozpadů. Austenit uhlíkové oceli o eutektoidním složení se rozpadá na perlit (eutektoidní směs feritu a cementitu). Perlitická přeměna začíná zpravidla na hranicích austenitických zrn, s menší četností pak na fázových rozhraních austenitu.
- Bainitická přeměna - při této přeměně se transformace austenitu na ferit uskutečňuje smykem, vznik a růst bainitického feritu doprovází (nebo předchází) difuze uhlíku a následná precipitace cementitu nebo méně stabilního karbidu. Bainit je nejčastěji definován jako struktura nebo nelamelární feriticko-karbidická směs vzniklá rozpadem austenitu mezi teplotami asi 500°C a teplotou počátku martenzitické transformace.
- Martenzitická přeměna - je nejzávažnějším příkladem bezdifúzní přeměny. Je-li austenit přechlazen až do oblasti tak nízkých teplot, že již není možná účinná difuze, jak substitučních tak intersticiálních prvků, mění se bezdifúzní přeměnou v martenzit (nerovnovážný přesycený tuhý roztok uhlíku v železe  $\alpha$ ).



## **5 Svařovací stroj pro odtav. styk. svař. typ GAA 100/580**

### **5.1 Pracovní princip**

Zařízení (Obr. 7.4) je určeno pro odtavovací stykové svařování velkorozměrových dílů. Čtyři nezávisle na sobě působící upínací čelisti umožňují přesné upevnění dílů s nepravidelnými průřezy. Upínací síla rozdělená na velkou vzdálenost umožňuje precizní svaření bez deformace dílů. Díly jsou umístěné v ose upínacích čelistí, tím se eliminují ohybové momenty při přechování. Přítlačné síly jsou i u dílů s velkou plochou povrchu rovnoměrně rozděleny na průřez. Hydraulické výškové a boční nastavení stroje může svařované díly vystředit i pod plnou upínací silou. Parametry stroje - viz. Příloha A.

Usměrnění svařovacího proudu je provedeno pomocí 3-fázových transformátorových skupin s 6-fázovým usměrněním na sekundární straně, které rozděluje proud symetricky na všechny tři fáze sítě, redukuje špičkové zatížení sítě a tím snižuje potřebný výkon síťové přípojky. [6] [7]

### **5.2 Součásti svařovacího zařízení**

Svařovací zařízení se skládá z následujících komponentů: [6]

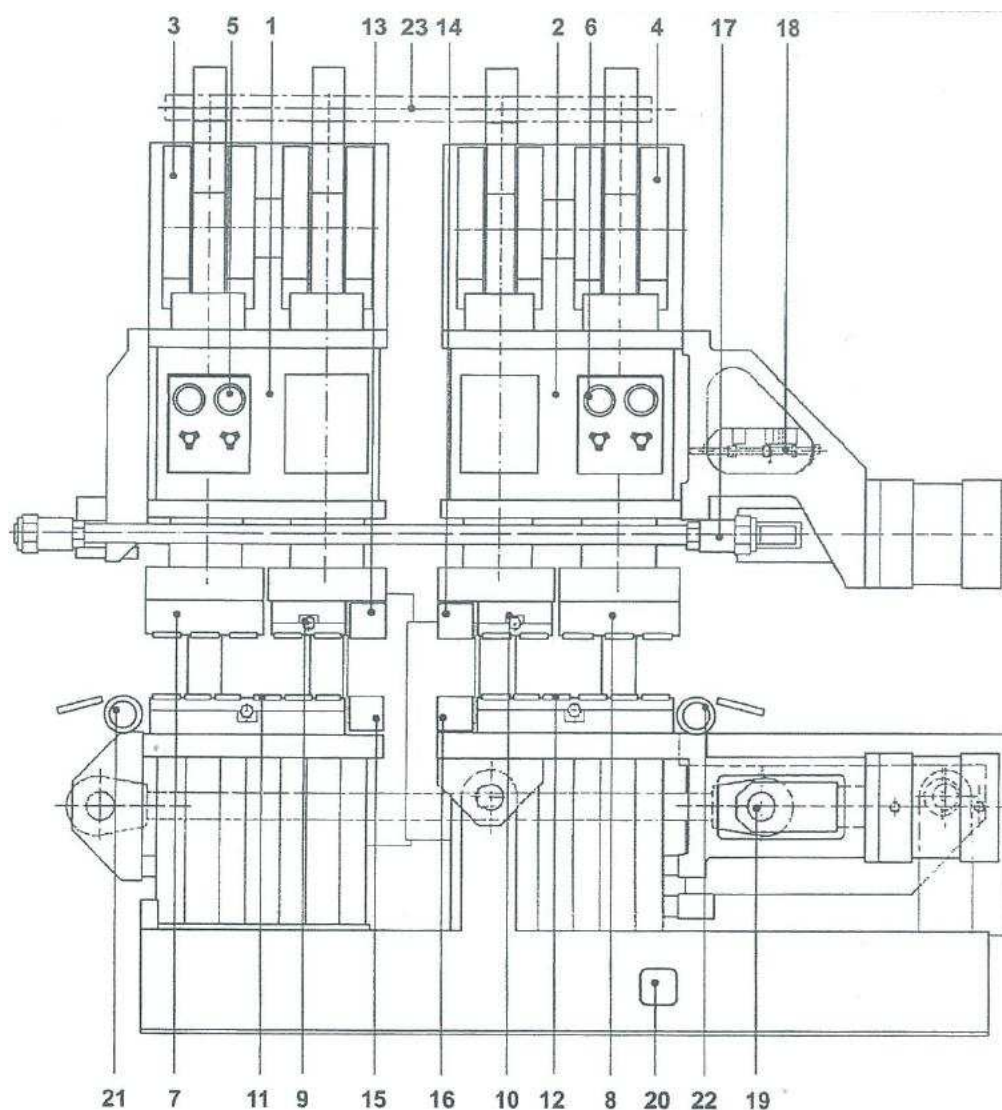
- usměrňovací skupina,
- svářečka,
- hydraulický agregát,
- řídicí skříň zařízení,
- ovládací jednotky,
- přídatné zařízení (ostřihovadlo, kouřovod, zpětný chladič pro chladicí vodu).

#### **5.2.1 Usměrňovací skupina**

Usměrňovací skupina se skládá z těchto komponentů: [6]

- dva usměrňovače,
- dva svařovací transformátory,
- šest regulátorů proudu,
- dva chladicí agregáty s výměníkem tepla pro uzavřený chladicí okruh,
- expanzní nádoba pro uzavřený chladicí okruh,
- připojení pro chladicí vodu (vchod/východ) pro otevřený chladicí okruh,
- olejová nádrž s oběhovým čerpadlem pro centrální mazání,
- elektrická přípojná skříňka.

## 5.2.2 Svářečka



- Legenda:*
- |   |  |
|---|--|
| 1 Upínací část stroje - pevná levá      | 13 Svařovací elektroda - horní levá    |
| 2 Upínací část stroje - pohyblivá pravá | 14 Svařovací elektroda - horní pravá   |
| 3 Upínací válec - levý                  | 15 Svařovací elektroda - dolní levá    |
| 4 Upínací válec - pravý                 | 16 Svařovací elektroda - dolní pravá   |
| 5 Regulační ventil s manometrem - levý  | 17 Pěchovací mechanika - horní         |
| 6 Regulační ventil s manometrem - pravý | 18 Snímač délky dráhy                  |
| 7 Upínací čelist - pevná horní levá     | 19 Pěchovací mechanika - dolní         |
| 8 Upínací čelist - pevná horní pravá    | 20 Centrální mazání                    |
| 9 Upínací čelist - posuvná horní levá   | 21 Zvedací váleček hydraulický - levý  |
| 10 Upínací čelist - posuvná horní pravá | 22 Zvedací váleček hydraulický - pravý |
| 11 Upínací čelist - posuvná dolní levá  | 23 Dopravní zavěšení                   |
| 12 Upínací čelist - posuvná dolní pravá |  |

**Obr. 5.1** Svařovací stroj [6]

### 5.2.3 Hydraulický agregát

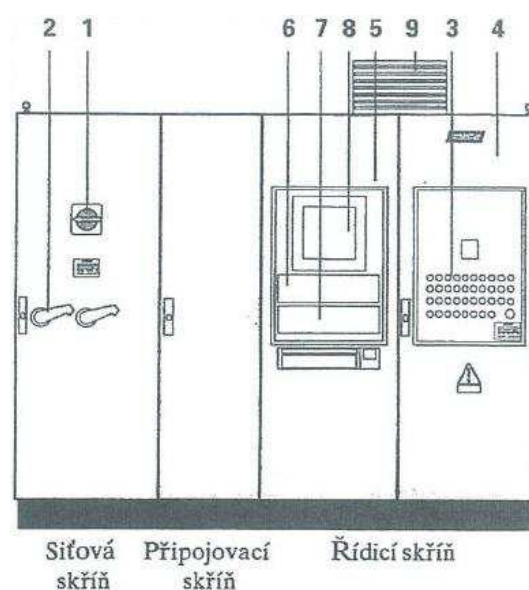
Jedná se o zařízení hydraulické jednotky s regulačním čerpadlem, které čerpá olej pro funkce zařízení. Hydraulický agregát se skládá z těchto komponentů: [6]

- olejová nádrž,
- hydraulické čerpadlo s poháněcím motorem,
- tlakový filtr,
- filtr ve zpětném okruhu,
- připojení pro chladicí vodu (vchod/východ) pro otevřený chladicí okruh,
- výměník tepla olej/voda,
- ventil chladicí vody s termostatem,
- údaj stavu oleje se spínačem plováku a teploměrem,
- výpustný ventil oleje,
- regulace teploty,
- voličový přepínač manometru,
- elektrická přípojná skříňka.

### 5.2.4 Řídící skříň zařízení

Hlavní části zařízení: [6] [7]

1. hlavní spínač,
2. vypínač,
3. ovládací panel pro řízení zařízení,
4. řízení funkce stroje,
5. údaj naměřené hodnoty elektrické vodivosti,
6. přístroj na řízení a regulaci svařovacího procesu,
7. tříkanálový registrační přístroj,
8. kontrolní a dokumentační systém svařovacího procesu
9. chladicí agregát.



**Obr. 5.2** Řídící skříň zařízení [6]

## 5.2.5 Přídavné komponenty

### Ostřihovadlo - ořezávací jednotka výronku

Jedná se o mobilní ostřihovadlo s hydraulickým agregátem, technické parametry jsou uvedeny v Tab. č. 1. Zařízení slouží k odříznutí výronku. Je připevněno na závěsné konstrukci. Před odstraněním výronku je ostřihovadlo přiloženo ke koleji a je automaticky vystředěno na hlavu kolejnice.

Při spuštění ořezávacího postupu se ořezávací nože přiblíží k profilu kolejnice a následně se provede odřezání horkého výronku kolem celého obvodu kolejnice.

Výronek je odřezán ve čtyřech snadno odstranitelných částech. Všechny prvky se vrátí do výchozí polohy, ostřihovadlo výronku se zvedne od kolejnice. Proces odřezání výronku trvá zhruba 30 s. [6] [7]

Tab. č. 1: *Technické parametry ostřihovadla* [7]

Stříhací síla	725 kN
Upínací síla	1 450 kN
Počet ořezávacích nožů	5 ks
Příkon motoru čerpadla	11 kW
Tlak čerpadla	200 bar
Napětí přípojky	400 V; 50 Hz

### Kouřovod

Zařízení sloužící k odvodu kouře (zplodin) vznikající při svařování. Součástí kouřovodu je mokrý filtr a elektrostatický filtr. [6]

## 5.3 Systém řízení a monitorování

### Řízení procesu

Řízení funkce svařovacího stroje je zabezpečeno pomocí mikroprocesorového řízení s programovatelnou pamětí s vlastní diagnostikou pro automatickou pracovní sekvenci stroje s obslužnými tlačítky pro ruční a automatické ovládání.

Přístroj k řízení a regulaci svařovacího procesu řídí svařovací proces prostřednictvím tří regulačních okruhů pro dráhu - sílu - proud. Proces svařování je volně programovatelný a je možné jej rozdělit do max. 10-ti postupných kroků s omezením dráhy (např. příprava pro svařování, zarovnání čel odtavením, předehřev, odtavování, pýchování, dohřev). Každý

krok postupu obsahuje dvě fáze s parametry síla - proud - čas. Svařovací programy jsou ukládány do jedné z 25-ti paměťových položek.

Přístroj zajišťuje:

- kontrolu fázového posunu s kompenzací hl. napětí  $\pm 2\%$  pro kolísání napětí  $\pm 10\%$ ,
- stálý záznam pro dráhu, sílu a proud během i mimo proces svařování,
- rozpoznání a záznam závad při upnutí kolejnice (prokluz, příliš velká mezera),
- indikování chyb v elektronice, v obsluze nebo ve vlastním procesu svařování,
- chybová hlášení jsou uložena do paměti a lze je kdykoliv vyvolat, atd.

### Systém monitorování procesu

Systém monitorování svařovacího procesu zajišťuje tříkanálový registrační přístroj, který monitoruje a zaznamenává tři parametry odporového svařování a provádí nákres informací v reálném čase na grafickém displeji s vysokým rozlišením. Těmito parametry jsou - pēchovací síla, svařovací proud a dráha svařování.

Po dokončení svaru je informace o svařování komprimována a uložena v souboru svařování na hard disk. V souboru svarů jsou dva typy údajů, hlavičkové údaje a získané údaje. Získané údaje jsou analogové a digitálně čteny z desky získaných dat, které byly zaznamenány během svařování. Hlavičkové údaje obsahují údaje, jako je zakázka svařování, zákazník, datum a čas svařování, místo svařování, obsluha, nastavení kalibrace, svařovaný díl, poznámky týkající se určité zakázky, lze přidat ke každému souboru svaru. Také všechny nezbytné informace o svařovacím stroji a nastavení kalibrace jsou uloženy v tomto souboru.

### Funkce monitorování procesu

Specifikace svaru pro zjištění kritických oblastí jsou zadány do programu. Každý svar je potom kontrolován na shodu s těmito specifikacemi. Specifikace obsahují: [6]

- min/max čas odtavování,
- počet cyklů přehřevu,
- min/max počáteční a koncová rychlost konečného odtavování,
- min/max čas konečného odtavování,
- proud přerušení/přítisknutí konečného odtavení,
- přerušení pohybu konečného odtavení,
- min/max pēchovací tlak,
- pokles maxima pēchovacího tlaku,

- min/max proud přechování,
- min/max celková dráha přechování,
- maximální pokles dráhy přechování,
- rychlost přechování (ohraničení dráhy pohybu),
- min/max čas proudu přechování,
- min/max čas přidržení přechování,
- počet cyklů dohřevu.

Je možné uložit až 255 sad limitních specifikací a přidat je specifickému typu kolejnice. Zvolením určitého typu kolejnice se aktivuje přiřazená sada nastavených limitních specifikací. Limity každé specifikace lze zvláště povolit nebo zakázat. Kritické oblasti svaru, které jsou shledány jako neshodné, jsou zvýrazněny červeně a je zobrazena hodnota mimo povolenou toleranci.

#### Grafické zobrazení informací o svaru

Grafické zobrazení sestavy (rozměr, měřítko, barva, poloha) pro tři parametry svaru, pro tlak, proud a posuv může být zadáno uživatelem. Zobrazení různých nastavení je možné uložit a snadno aktivovat. Je možné provést rychlý tisk grafů s různými sestavami (např.: rychlá přeměna z jednokanálového na tříkanálový displej). Pro studium větších detailů je možné zvětšení.

Po dokončení a uložení svaru jsou údaje analyzovány a zobrazeny na obrazovce, kde mohou zůstat po určený čas. Po této prohlížecké době se program sám automaticky připraví na zaznamenávání dalšího svaru, což umožňuje bezdotykový systém monitoringu.

#### Tisk informací o svaru

Charakteristické hodnoty svaru spolu s informacemi o výrobě, limitními specifikacemi a shoda, nebo neshoda s těmito specifikacemi může být automaticky vytištěna po ukončení svařování. Místo tisku zprávy je také možné uložení souboru na hard disk. Tisk zprávy z předešlého svaru může být proveden ručně kdykoliv později. Kompletní graf svaru může být vytištěn černobíle nebo barevně (např. pro identifikaci vad). [6]

## **6 Metody kontroly svarových spojů**

Technologický postup výroby a vlastnosti použitého materiálu ovlivňují spolehlivost, kvalitu a životnost strojírenských výrobků. Je třeba si uvědomit, že používané materiály pro výrobu součástí a zařízení nejsou nikdy zcela bez vad. Vznik těchto vad je zapříčiněn vlivy nedokonalosti technologie výroby, tepelného nebo mechanického zpracování, lidským faktorem, nedodržením jednotlivých postupů výroby a další.

### **6.1 Druhy vad ve svarech**

Vady ve svarech musíme považovat jako oblasti vzniku nebezpečných koncentrací napětí, které nebezpečně ovlivňují mez únavy. Za určitých podmínek mohou být vady iniciátory lomu a způsobit nefunkčnost součástí, finanční, materiálovou ztrátu a v nejhorším případě i ohrožení zdraví člověka nebo ztráty na životech.

Proto je nutné do provozu pouštět svařované konstrukce se svary bez vad, nebo jen s takovými typy vad, o kterých dokážeme potvrdit, že při daném provozním zatížení neohrozí bezpečnost svarových spojů (svařovaných konstrukcí).

Vady ve svarech dělíme podle tvaru a podle polohy ve svaru. Podle tvaru jsou to vady bodové (mikropóry, malé sférické vměstky), plošné (trhliny, mikrotrhliny, studené spoje, neprůvary, apod.), prostorové (plynové dutiny, vměstky, sraženiny).

Při dělení podle polohy jsou to vady povrchové (např. trhliny, mikrotrhliny, studené spoje, neprůvary, neprovařený kořen svaru, póry), vnitřní (např. plynové dutiny, vměstky, sraženiny, studené spoje mezi vrstvami housenek, ale i mezi svarem a základním materiálem, neprůvar v kořeni svaru).

Vady svarových spojů a příčiny jejich vzniku závisí na druhu svař. materiálu a také na metodě svařování. Značení a charakter vad, které mohou vzniknout při tavném svařování kovů ve svarových spojkách, uvádí normy ČSN EN ISO 6520-1,2 a ČSN EN ISO 5817. Klasifikace vad jsou v těchto normách rozděleny do šesti skupin (Příloha B). [12]

### **6.2 Destruktivní zkoušení svarových spojů**

Svařované konstrukce musí splňovat požadavky na bezpečnost provozu, proto je nutné, aby vlastnosti svarových spojů odpovídaly požadavkům kladeným na danou konstrukci. Z toho důvodu jsou vlastnosti svarových spojů zkoušeny a je i nutné deklarovat základní mechanické vlastnosti. Nevýhodou při destruktivních zkouškách je to, že dojde

k porušení zkoušeného svarového spoje. Proto jsou destruktivní zkoušky prováděny na zkušebních vzorcích před zahájením výroby. Postupy destruktivních zkoušek jsou popsány v platných technických normách. [12]

Základními destruktivními zkouškami pro ověření vlastností svarových spojů jsou zkoušky tvrdosti, zkoušky mikrotvrdosti, zkoušky tahem, zkoušky rázem v ohybu, zkoušky lámavosti, zkoušky makrostruktury a mikrostruktury.

### Zkoušky tvrdosti

Základní požadavky provedení zkoušek tvrdosti jsou uvedeny v technických normách (ČSN EN 1043-1). Pro provedení zkoušky je potřeba odebrat ze svaru kontrolní vzorky. Odebrání se provede mechanickým řezáním, aby nedošlo k ovlivnění povrchu kontrolního vzorku použitou technologií řezání. Řezy se provádí kolmo na osu svaru. Zkušební vzorek musí být tak velký, aby obsahoval svarový kov, obě části tepelně ovlivněné oblasti TOO i základní materiál neovlivněný svařováním. Povrch zkušebního vzorku se upraví broušením nebo leptáním pro zviditelnění jednotlivých částí svarového spoje.

V rámci úspor jsou často jako zkušební vzorky pro zkoušku tvrdosti použity zkušební vzorky připravené pro zkoušku makrostruktury svarového spoje. Počet a rozmístění vtisků musí být dostatečný k určení oblastí se zvýšenou nebo sníženou tvrdostí vzniklou při svařování. Doporučená vzdálenost a rozmístění vtisků je dána technickými normami.

Výsledek zkoušky tvrdosti se zaznamená v protokolu o zkoušce. V protokolu zkoušky jsou zaznamenány hodnoty naměřené tvrdosti včetně údaje o umístění vtisku. Dosažené hodnoty jsou porovnány s hodnotami tvrdosti uvedenými pro svarové spoje daného materiálu v materiálových listech materiálů nebo platných normách. [12]

### Zkoušky mikrotvrdosti

Zkoušky mikrotvrdosti jsou prováděny na příčných řezech svarových spojů materiálů. Základní požadavky provedení zkoušek mikrotvrdosti jsou uvedeny v technických normách (ČSN EN 1043-2). Doporučené rozmístění vtisků je menší než při měření tvrdosti, proto pomocí metody měření hodnot zkouškou mikrotvrdosti určíme přesněji maximální a minimální hodnoty tvrdosti ve všech oblastech svarového spoje (oblast svarového kovu, oblast TOO i oblast základního materiálu neovlivněného svařováním).

Princip zkoušky mikrotvrdosti a příprava kontrolních vzorků je stejný jako při měření tvrdosti. Rozsah min. požadovaných údajů ve zkušebním protokolu je dán TN. [12]



### Zkoušky tahem

Zkoušky tahem slouží k zjištění meze pevnosti u tupých svarových spojů. Poloha lomu se zjišťuje pomocí příčné zkoušky tahem. Zkušební tyč odebereme ze svaru kolmo na osu svarového spoje. Pro stanovení mechanických vlastností svarového kovu se používají zkušební tyče odebrané z čistého svarového kovu ve směru jeho osy, tzn. není promísený se základním svařovaným materiálem. Zkoušky tahem dělíme na:

Příčná zkouška tahem - způsob provedení příčné zkoušky tahem, rozměry zkušebních tyčí, způsob jejich odběru ze svarového spoje a opracování stanoví příslušná technická norma (ČSN EN 895). Zkušební tyče se odebírají ze svarového spoje příčně tak, aby po opracování zůstala osa svarového kovu ve středu zkoušené délky zkušební tyče. Každý zkušební vzorek musí být označen tak, aby bylo zřejmé, ze kterého místa svarového spoje byl odebrán. Při použití mechanických nebo tepelných metod dělení při odebírání zkušebního vzorku nesmí dojít k ovlivnění vlastností zkušební tyče. Zkušební vzorky musí dodržet rozměry a požadavky na drsnost povrchu stanovených technickými normami.

Podélná zkouška tahem a zkouška rázem v ohybu - podélná zkouška tahem a zkouška rázem v ohybu svarového kovu slouží k hodnocení přídavných materiálů. Provádí se dle platných TN (ČSN EN 1597-1). Dosažené hodnoty při zkouškách se mohou lišit od hodnot dosažených u reálných svarů, důvodem jsou odlišné podmínky při svařování.

Výsledek zkoušek se vyhodnotí do protokolu o zkoušce. V protokolu o zkoušce jsou uvedeny informace o druhu a umístění zkušební tyče ve svaru (může být přiložen i náčrt), zkušební teplota, umístění lomu, druhy, počty a rozměry zjištěných vad, a další. Naměřené hodnoty meze pevnosti  $R_m$  svarového spoje se porovnávají s hodnotami požadovanými ve výrobních normách nebo průřezových normách oboru svařování. [12]

### Zkoušky rázem v ohybu

Zkoušky rázem v ohybu jsou prováděny dle platných technických norem (ČSN EN 10045-1). Ze svarového spoje jsou odebrány zkušební tyče, které musí být řádně označeny. Označení popisuje typ, umístění a orientaci vrubu ve svarovém spoji. Dále obsahuje údaj o vzdálenosti vrubu od referenční linie (RL) ve svarovém spoji v mm.

Výsledky zkoušky jsou zaznamenány do zkušebního protokolu. Naměřené hodnoty nárazové práce nebo vrubové houževnatosti musí splňovat požadavky příslušných norem, legislativních nebo technických předpisů. [12]

### Zkoušky lámavosti

Pomocí zkoušky lámavosti zjišťujeme plastické vlastnosti a tažnost daného svarového spoje. Při provádění této zkoušky se také projeví, na povrchu nebo v blízkosti povrchu, vady svarového spoje. Zkušební tyče odebíráme ze svarového spoje příčně (kolmo na osu svarového spoje) nebo podélně (ve směru osy svarového spoje). Ohyb zkušebních tyčí se provádí pomocí trnu předepsaného průměru a o předepsaný úhel.

Při zkoušce ohýbacím trnem se zkušební tyč položí na dva rovnoběžné podpěrné válečky. Osa svaru je ve středu mezi válečky. Zk. tyč je postupně ohýbána ve středu svaru. Pokud dojde k vybočení zkušební tyče je zkouška neplatná a nelze vyhodnocovat. [12]

### Zkoušky metalografické - makrostruktury a mikrostruktury

Metalografické zkoušky slouží k ověření stavu struktury materiálu svarového spoje. Podle použitého zvětšení je možné metalografické zkoušky rozdělit na ověření makrostruktury a mikrostruktury s použitím optického nebo elektronového mikroskopu.

Před vlastním provedením metalografické zkoušky je nutné provést pečlivou přípravu zkušebního vzorku. Pomocí mechanického dělení je odebrán vhodný zkušební vzorek, který je následně opracován broušením analyzované plochy na metalografických papírech s klesající zrnitostí. Povrch se mechanicky nebo elektrolyticky leští s použitím diamantových past a chemickými nebo elektrolytickými metodami se leptá. Výsledky z metalografických analýz jsou dokladovány pomocí fotografií.

Zkušební vzorky musí obsahovat základní materiál neovlivněných oblastí, obě TOO a svarový kov. Makrostrukturu pozorujeme pouhým okem vizuálně nebo při malém optickém zvětšení lupou nebo mikroskopem. Cílem zkoušky je zejména posouzení tvaru svaru, způsobu kladení jednotlivých vrstev, provaření kořene svaru, výskyt vad ve svaru, šířku tepelně ovlivněné oblasti. Zkouška je prováděna na zkušebních vzorcích pomocí optických mikroskopů při zvětšení 30 až 2 000x. K pozorování jsou používány metalografické výbrusy ze svarového spoje.

Výsledkem mikroskopického pozorování je posouzení vzhledu mikrostruktury, přítomnosti, množství a rozmístění strukturních fází (ferit, austenit, cementit, martenzit) nebo strukturních složek (perlit, bainit) v základním materiálu neovlivněné oblasti, v obou tepelně ovlivněných oblastech i ve svarovém kovu svarového spoje. [12]

### **6.3 Nedestruktivní zkoušení svarových spojů**

Nedestruktivní (defektoskopické) metody zkoušení materiálů nebo výrobků jsou metody nepřímé. Jedná se o kontrolu materiálů a výrobků bez jejich porušení, včetně kontroly v provozu, bez nutnosti demontáže. Pro zjišťování vad využíváme prostředků s takovými fyzikálními vlastnostmi, které mění po interakci s okolím své parametry. Umožňují zjišťování skrytých povrchových i vnitřních vad, které narušují celistvost svaru.

Výsledky defektoskopických metod zkoušení jsou rozhodujícím hodnotícím vodítkem pro rozhodování o správnosti technologických postupů výroby, upozorňují na nedostatky. Tyto metody zkoušení lze provádět v jakékoli fázi výrobního procesu. V dnešní době jsou defektoskopické metody zkoušení běžnou součástí výrobního procesu.

Jednotlivé defektoskopické metody mají vzhledem ke svým možnostem dané fyzikální podstatou omezené použití. Neexistuje univerzální metoda, která by byla schopna odhalit veškeré druhy vad, které mohou vzniknout v materiálu. Z obecného pohledu rozdělujeme defektoskopické metody podle identifikace vad na povrchu nebo uvnitř materiálu nebo výrobku takto: [12]

- a) Povrchové vady - vizuální metody, kapilární metody, magnetoinduktivní a elektroinduktivní metody.
- b) Vnitřní vady - ultrazvukové (akustické) metody, prozařovací metody.

#### Vizuální metody

Nejjednodušší a zároveň nejlevnější metodou defektoskopického zkoušení je vizuální metoda. Považuje se za základní nedestruktivní metodu zkoušení a měla by být provedena před každou další kontrolní metodou. Slouží k odhalování výskytu povrchových vad, to mohou být trhliny, praskliny, nepřípustné nerovnoměrnosti, převýšení svaru, zápaly, studené spoje, vady v kořenové oblasti a další. Metoda je prováděna pouhým okem nebo za pomoci speciálních přístrojů a měřidel. Předpoklady u vizuální zkoušky jsou:

- zraková způsobilost pracovníka provádějícího zkoušku,
- odborná způsobilost pracovníka provádějícího zkoušku (zkušenost, dovednosti),
- dostatečné osvětlení zkoušeného povrchu.

Podle použitých kontrolních pomůcek můžeme vizuální metodu rozdělit na vizuální kontrolu přímou a vizuální kontrolu nepřímou.

Vizuální kontrola přímá se provádí pouhým okem nebo za pomoci lupy se zvětšením 3 až 6x. Přímou vizuální kontrolu je možno použít na přístupném povrchu s dostatečným osvětlením. Dostatečné osvětlení musí umožnit pozorovat vady o velikosti 0,5 mm.

Vizuální kontrola nepřímá slouží ke kontrole nedostupných nebo skrytých míst, zdraví nebezpečných míst, pomocí optických a optoelektronických přístrojů jako jsou endoskopy, periskopy, kamery apod. Z důvodu rastrování obrazu se musí pro kontrolu použít moderních a kvalitních přístrojů, je nutná zkušená obsluha. [12]

### Kapilární (penetrační) metody

Kapilární metoda je jednou z nejrozšířenějších metod nedestructivního zkoušení materiálů. Je jednoduchá, rychlá a v základním provedení i finančně nenáročná. Používá se ke zjišťování povrchových vad. U svarů jsou to především povrchové trhliny, praskliny, zápaly a póry, případně hodnocení těsnosti svarů malých tlouštěk, atd.

Princip kapilární metody spočívá v použití kapilárně aktivní látky, která po nanesení na kontrolovaný povrch vnikne do vad a po odstranění přebytků této látky vzlíná zpět vlivem působení kapilárních sil a tím se tyto vady zviditelní. Vhodné detekční kapaliny musí mít nízké povrchové napětí. [12]

### Magnetoinduktivní a elektroinduktivní metody (elektromagnetické)

Zkoušky založené na principu magnetické a elektrické indukce se používají k zjišťování povrchových vad nebo vad nacházejících se těsně pod povrchem feromagnetických materiálů. Feromagnetický materiál je železo, kobalt a nikl. Nevýhodou je, že touto metodou nelze zkoušet paramagnetické materiály, jako jsou vysokolegované oceli austenitického typu a jejich slitiny (Hliník, měď). Naopak, tyto metody nekladou tak vysoké nároky na přípravu zkoušeného povrchu a jeho čistotu. Zkoušky dělíme na:

- Metody rozptylových toků.
- Metody vířivých proudů.

Princip těchto metod spočívá ve zmagnetizování zkoušeného materiálu. Případná vada materiálu má jiné magnetické vlastnosti a v místě vady dojde k deformaci siločar magnetického pole, tyto siločáry vystupují na povrch zkoušeného materiálu. Většinou bývají vady nemagnetické (vzduch v trhlíně, struska, atd.). Vady rovnoběžné s tímto polem se nezobrazí, protože šíření pole nenaruší. U hlubších vad pod povrchem se schopnost zjištění touto metodou snižuje v závislosti na hloubce. [12]

### Ultrazvukové metody

Ultrazvukové metody se používají k zjišťování vnitřních vad materiálu a to i ve velké hloubce pod povrchem. Zkouška využívá průchodu ultrazvukového vlnění pružným homogenním prostředím materiálu. Pevné látky kovové i nekovové jsou dobrými vodiči zvukových vln. Při postupném průchodu vln dochází ke zmenšování intenzity vlnění i amplitudy kmitů důsledkem absorpce materiálem, ale i rozptylem, tím dochází k jejich postupnému útlumu. Čím je frekvence vlnění větší, tím je možné odhalit menší vady.

Ultrazvuk je pouštěn do materiálu pomocí sondy v krátkých impulsech. V případě, že vlna narazí na rozhraní dvou prostředí s rozdílnými akustickými vlastnostmi, tj. homogenním prostředím materiálu a heterogenitou (vadou - bublina, vměstek, trhlinka) dochází k jejímu odrazu. Na obrazovce ultrazvukového přístroje máme možnost sledovat velikosti a časové zpoždění odezvy. Z těchto hodnot lze určit umístění a velikost odrazové plochy, tedy umístění a velikost jednotlivých vad v materiálu. [12]

Základní metody ultrazvukového zkoušení jsou:

- Odrazová impulsní metoda.
- Průchodová metoda.
- Rezonanční metoda.
- Metoda umožňující zviditelnění vnitřních vad.

### Prozařovací (radiologické) metody

Jedná se o metodu nedestruktivního zkoušení materiálu pomocí prozařování pronikavým zářením (RTG, gama, urychlovačů). Intenzita záření se při průchodu materiálem snižuje úměrně jeho tloušťce a absorpčním vlastnostem. Umožňují získat trvalý obraz vnitřních vad materiálu. Podle druhu použitého zdroje záření a podle záznamu obrazu dělíme prozařovací metody na:

- Radiografické metody.
- Radioskopické metody.
- Ionizační (Radiometrické) metody.

Princip metody spočívá ve schopnosti pronikavého záření procházet zkoušeným materiálem a na schopnosti indikačního zařízení toto prošlé záření zaznamenat ať již na fotografický materiál, fluorescenční vrstvu stínítka nebo ionizační detektor. [12]

## **Experimentální část**

### **7 Zhotovení zkušebních vzorků**

#### **7.1 Úvod**

Vzhledem k vzrůstajícím požadavkům, dnešní doby, na vyšší rychlosti projíždějících vlakových souprav a vyšší zatížení železničních tratí je třeba zvyšovat kvalitu používaných kolejnic, tak aby odolaly těmto zvyšujícím se nárokům. Rychlosti dnešních vlakových souprav v zahraničí přesahují rychlosti 200 km/h a na druhé straně než je maximální rychlost se zvyšuje i zátěž vlakových souprav působící na železniční tratě, které přesahuje 30 t/nápravu, např. soupravy přepravující suroviny z dolů, apod.

Cílem experimentální části této práce bylo navrhnout a následně prověřit, parametry stykového svařování s odtavením monoblokových srdcovek z Mn oceli (13Mn-B) svařených s přípojnými kolejnicemi jakosti R350HT profilu 60E1 přes CrNi mezikus na stroji Schlatter GAA 100/580. CrNi mezikus je použit z důvodu špatné svařitelnosti Mn oceli s vysokouhlíkovou ocelí vignolových kolejnic (vložení CrNi mezikusu nám umožní spolehlivé svaření těchto dvou rozdílných materiálů). Srdcovka z Mn oceli byla v experimentu nahrazena odlitkem ze stejného materiálu (Mn ocel), opracovaným do tvaru kolejnice 60E1. Pro svařování bylo navrženo technologické opatření, které zamezilo vzniku nežádoucího poklesu tvrdosti v TOO svaru v materiálu kolejnice jakosti R350HT. Jednalo se o dochlazovací přípravek (vzduchovou sprchu), která zamezila výraznějšímu snížení tvrdosti.

Kvalita svarového spoje byla prověřena dle požadavků normy ČSN EN 14587-3 (Železniční aplikace - Kolej - Odtavovací stykové svařování kolejnic - Část. 3: Svařování v souvislosti s výrobou srdcovek). Zkušební vzorky byly svařeny ve společnosti DT-Výhybkárna a strojírna, a.s., zde byla dále provedena vizuální, kapilární zkouška a příprava zkušebních vzorků pro další zkoušení. Vzhledem k tomu, že DT-Výhybkárna a strojírna, a.s. nedisponuje vybavením pro provedení dalších zkoušek (měření tvrdosti, metalografické hodnocení, zkouška ohybem a únavová zkouška), byly tyto zkoušky provedeny v akreditované zkušebně VÚŽ Praha, DZS Cerhenice a v laboratoři Univerzity Pardubice, Dopravní fakulty Jana Pernera.

Pro prokázání problému s výrazným snížením povrchové tvrdosti byl svařen jeden zkušební vzorek, svařením dvou kolejnic jakosti R350HT, s označením VZ-1. Na tomto vzorku byla prověřena povrchová tvrdost (kapitola 8.3.1).

Pro ověření kvality svarů kolejnic jakosti R350HT s kolejnicí z materiálu 13Mn-B, bylo svařeno sedm zkušebních vzorků pod označením VZ-2 až VZ-8. Vzorky měly délku 1 300 mm a skládaly se z cca 600 mm dlouhé části kolejnice profilu 60E1 jakosti R350HT, CrNi mezikusy o tloušťce  $15 \pm 1$  mm a cca 700 mm dlouhé části kolejnice profilu 60E1 z austenitické vysoko-manganové oceli - 13Mn-B (Obr. 7.1). Tyto části byly k sobě svařeny stykově s odtavením na stroji Schlatter GAA 100/580.

Jeden vzorek byl uzpůsoben pro provedení metalografického rozboru a měření tvrdosti. Jeho délka byla zkrácena na 130 mm (se svarem uprostřed vzorku).



**Obr. 7.1** Vzorek svařených kolejnic VZ-7

Jednotlivé zkušební vzorky byly použity pro tyto zkoušky:

- VZ-2 - zkouška tvrdosti, zkouška makrostruktury a mikrostruktury; (kapitola 8.3.2).
- VZ-3, VZ-4, VZ-5 - zkouška ohybem (statická zkouška tříbodovým ohybem); (kapitola 8.4).
- VZ-6, VZ-7, VZ-8 - únavová zkouška (dynamická zkouška čtyřbodovým ohybem); (kapitola 8.5).

## **7.2 Rozbor použitých materiálů pro zkušební vzorky**

### **7.2.1 Mn srdcovka (materiál 13Mn-B)**

Materiálem hrubého odlitku pevné srdcovky je austenitická manganová ocel, vyráběná pod označením 13Mn-B ve Slévárnách Třinec, dodávaných dle TPD-202-360-11.

Pro účely experimentu byl použit odlitek ve tvaru vignolové kolejnice 60E1, délky 700 mm ze stejného materiálu z jakého jsou odlévány srdcovky (13Mn-B). Tvrdost měřená na vybroušeném povrchu v hloubce asi 1 mm pod povrchem by měla být v rozmezí 150 až 220 HBW. Chemické složení musí odpovídat složení uvedenému v Tab. č. 2. Tepelné zpracování odlitků bylo provedeno v žíhací peci s kontrolou průběhu tepelného zpracování pomocí kalibrovaných termočlánků. Odlitky byly v žíhací peci uloženy tak, aby se vzájemně tepelně neovlivňovaly.

Tab. č. 2: *Kritérium - chemické složení materiálu 13Mn-B v % hmotnosti [8]*

Prvek	C	Mn *	Si	S	P	Cr	Cu	Ni	Mo	Al
Min.	1,00	12,3	0,2	-	-	-	-	-	-	-
Max.	1,23	13,8	0,55	0,015	0,04	0,5	0,3	1,75	0,75	0,045

\* *Obsah manganu musí být minimálně desetinásobek hodnoty obsahu uhlíku.*

Na odlitcích kolejnic byla provedena vizuální kontrola. Odlitky byly pečlivě očištěny od písku, odjehleny a zbaveny všech volných oxidů (okují), byly odstraněny vtoky, výfuky a nálitky. Prohlídka proběhla v souladu s normou ČSN EN 1370 a neshledala závady.

Na hrubých odlitcích kolejnic byla provedena rozměrová zkouška. Kontrola rozměrů byla provedena u každého odlitku měřidly o potřebné přesnosti v rozsahu výkresové dokumentace a TPD-202-360-11. Rozměrová kontrola neshledala odchylky od VD.

Dále byla na odlitcích provedena prozařovací zkouška (RT) pro ověření vnitřní homogenity. RT zkouška byla provedena v souladu s požadavky normy ČSN EN 444 s ověřením souladu s ČSN EN 462-3 pomocí bezdrátového typu obrazu ukazatelů kvality. RT zkouškou nebyly zjištěny žádné vady materiálu.

Po opracování odlitků, na profil kolejnice 60E1, byla na opracovaném povrchu provedena kapilární zkouška dle ČSN EN 571-1 s hodnocením podle ČSN EN 1371-1. Opracovaný povrch odlitků při kapilární zkoušce vyhověl.

Chemická analýza byla provedena v chemické laboratoři výrobce. Vzorky k chemické analýze byly odebrány z lící pánve odlitím do měrných kokilek. Vzorky mají průměr 40 mm a délku 60 mm. Výsledky chemické analýzy jsou uvedeny v atestu výrobku (Inspekčním certifikátu). Rozbor chemického složení vzorků použitých pro experiment k prověření kvality svaru při odporovém svařování, je uveden v Tab. č. 3.

Tab. č. 3: *Chem. sl. materiálu 13Mn-B použitého pro zk. vzorky v % hmotnosti*

Prvek	C	Mn	Si	S	P	Cr	Cu	Ni	Mo	Al
Obsah	1,10	12,86	0,39	0,005	0,022	0,20	0,13	0,86	0,09	0,02

Z rozboru chem. složení je zřejmé, že materiál odlitku kolejnice 60E1 z austenitické manganové oceli (13Mn-B), použitý pro zkušební vzorky našeho experimentu, odpovídá chemickému složení požadovanému dle TPD-202-360-11 (Tab. č. 2).



### 7.2.2 CrNi mezikus (materiál X8CrNi20-8)

CrNi mezikus je dodáván ve formě hrubého odlitku (Obr. 7.2) v přibližném tvaru kolejnice z oceli X8CrNi20-8 firmou S+C Alfanametal s.r.o., Tršice. Odlitky kolejnic byly vyrobeny v souladu s TPD 187/06 schválených odběratelem a výrobcem.



**Obr. 7.2** Odlitek kolejnice CrNi mezikusu - s opracovanými konci pro svaření

Na odlitcích byla výrobcem provedena zkouška vnitřní homogenity odlitků, ta byla prověřena rentgenem po celé ploše průřezu po celé své délce (tzn. v celém svém objemu). Chemické složení musí odpovídat složení uvedenému v Tab. č. 4.

Tab. č. 4: *Kritérium - chemické složení materiálu X8CrNi20-8 v % hmotnosti [9]*

Prvek	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Nb
Min.	0,06	-	0,3	-	-	18,5	8,0	0,69
Max.	0,09	0,5	1,0	0,04	0,04	19,5	9,0	0,90

K ověření jakosti dodaných odlitků kolejnic, byly výrobcem provedeny a doloženy další jakostní zkoušky, jsou to:

- zkoušky mechanických vlastností ( $R_e$ ,  $R_m$ ,  $A_5$ ),
- zkouška vrubové houževnatosti (KCV),
- hodnocení mikrostruktury a mikročistoty.

Chemická analýza byla provedena v chemické laboratoři výrobce. Výsledek chemické analýzy je uveden v atestu výrobku (Inspekčním certifikátu). Rozbor chemického složení vzorků použitých pro experiment, k prověření kvality svaru při odporovém svařování, je uveden v Tab. č. 5.

Tab. č. 5: *Chemické složení materiálu X8CrNi20-8 v % hmotnosti*

Prvek	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Nb
Min.	0,045	0,1	0,63	0,008	0,021	18,75	8,1	0,72

Z rozboru chemického složení je zřejmé, že odlitek kolejnice z oceli X8CrNi20-8, použitý pro zkušební vzorky našeho experimentu, odpovídá chemickému složení požadovanému dle TPD-187/06 (Tab. č. 4).

### 7.2.3 Kolejnice 60E1 (jakosti R350HT)

Pro experiment byla použita vignolová kolejnice tvaru 60E1 jakosti R350HT dodaná firmou VOESTALPINE SCHIENEN GMBH. Kolejnice byly vyválnčovány v souladu s normou EN 13674-1 a dodány dle TPD-202-30-07.

Výrobce doložil, že všechny dodané kolejnice vyhovují kvalifikačním kritériím v souladu s EN 13674-1, článek 8.2 až 8.5. K ověření jakosti dodaných kolejnic byly výrobcem provedeny tyto jakostní zkoušky:

- lomová houževnatost ( $K_{IC}$ ) - EN 13674-1 čl. 8.2,
- rychlost šíření únavových trhlin - EN 13674-1 čl. 8.3,
- únavová zkouška - EN 13674-1 čl. 8.4,
- zbytkové napětí v patě kolejnice - EN 13674-1 čl. 8.5,

Tvrdot měřená na vybroušeném povrchu kolejnice v hloubce asi 1 mm pod povrchem v místě pojížděné plochy u kolejnic jakosti R350HT by měla být v rozmezí 350 až 390 HBW. Chemické složení musí odpovídat složení uvedenému v Tab. č. 6.

Tab. č. 6: *Kritérium - chemické složení kolejnice jakosti R350HT v % hmotnosti [10]*

Prvek	C	Mn	Si	S	P	Cr	Al	V	N
Min.	0,70	0,65	0,13	-	-	-	-	-	-
Max.	0,82	1,25	0,60	0,03	0,025	0,15	0,004	0,03	0,01

*Hodnoty hmotnostních % jsou uvedeny pro tuhý vzorek.*

Kolejnice byly vizuálně zkontrolovány ze všech stran. Na pojížděné ploše a spodní straně paty kolejnice nebyly nalezeny žádné výčnělky (výstupky, hrbolky) ani rýhy.

Chemická analýza byla provedena v chemické laboratoři výrobce. Vzorky k chemické analýze byly odebrány z lící pánve odlitím do měrných kokilek. Vzorky mají průměr

40 mm a délkou 60 mm. Výsledky chemické analýzy jsou uvedeny v atestu výrobku (Inspekčním certifikátu). Rozbor chemického složení vzorků použitých pro experiment, k prověření kvality svaru při odporovém svařování, je uveden v Tab. č. 7.

Tab. č. 7: *Chem. sl. kolejnic jakosti R350HT použitých pro zk. vzorky v % hmotnosti*

Prvek	C	Mn	Si	S	P	Cr	Al	V	N
Obsah	0,79	1,14	0,41	0,013	0,011	0,04	0,001	0,001	0,005

Z rozboru chemického složení je zřejmé, že materiál kolejnice 60E1 jakosti R350HT, použitý pro zkušební vzorky našeho experimentu, odpovídá chemickému složení požadovanému normou ČSN EN 13674-1 (Tab. č. 6).

Dále byla na kolejnicích použitých pro vzorky zkontrolována povrchová tvrdost podle Brinela HBW 2,5/178,5 v souladu s EN ISO 6506-1. Povrchová tvrdost byla zkoušena na hlavě v oblasti pojížděné hrany zbroušené o 0,5 mm. Podmínky pro zkoušení:

- Karbido-wolframová kulička.
- Průměr kuličky 2,5 mm.
- Zatížení 1,839 kN.
- Doba aplikace 15 s.

Naměřené hodnoty jsou doloženy výrobcem v Inspekčním certifikátu a odpovídají požadavkům normy ČSN EN 13674-1.

## **7.3 Svaření zkušebních vzorků**

### **7.3.1 Návrh optimálních parametrů**

Parametry svařování a jejich mezní limity základních profilů kolejnic jsou dány v jednotlivých programech pro příslušný profil a materiál svařovaných dílů. Tyto programy jsou součástí programového vybavení stroje. Při zavádění nových profilů nebo materiálů kolejnic nebo svařovaných dílů výhybek jsou nové svařovací parametry a jejich mezní limity vyvinuty na základě zkoušek svařování vzorků a vyhodnocování kvality svarů.

Pro svaření zk. vzorků byly použity ověřené parametry svařování v programech, které jsou běžně používány pro svařování kolejnic 60E1 jakosti R260 s Mn kolejnicí přes CrNi mezikus. Pomocí 1. svařovacího programu byly svařeny kolejnice 60E1 s CrNi mezikusem a 2. svařovacím programem byla svařena kolejnice materiálu 13Mn-B s CrNi mezikusem. Parametry svařování těchto dvou programů jsou uvedeny v příloze (Příloha G).

### 7.3.2 Zařízení k řízenému ochlazování

Z důvodu dosažení požadované povrchové tvrdosti na hlavě u kolejnic jakosti R350HT musí být kolejnice v místě svaru řízeně ochlazovány. Proto bylo v rámci experimentu vyrobeno zařízení k řízenému ochlazování (Obr. 7.3). Chladicí zařízení bylo připojené na centrální rozvod vzduchu. Po svaření zkušebních vzorků bylo nasazeno nad svar a pomocí ventilu bylo zahájeno ochlazování okolí svaru (TOO). Zařízení bylo zkonstruováno tak, aby ofukovalo hlavu kolejnice shora a ze strany pojížděné hrany (PH).



**Obr. 7.3** *Zařízení k řízenému ochlazování svarů kolejnic*

### 7.3.3 Svaření zkušebních vzorků

Svařování zkušebních vzorků probíhalo za sledu těchto pracovních operací:

1. Před zahájením svařování byl zkontrolován stav svařovacího stroje a jeho čelistí, stav brusek, pneumatických kladiv, sekáčů a ostatních pomocných nástrojů.
2. Na pracoviště byly dodány svařované součásti. Čela svařovaných dílů a kontaktní plochy na celé ploše dotyku s přívodovými čelistmi svařovacího stroje byly očištěny (broušením nebo obráběním) a to bezprostředně před svařením.
3. Provedení penetrační zkoušky obrobených konců CrNi mezikusu - v případě výskytu vady by byl tento konec odeslán na zařezání a využit k dalšímu použití.
4. Ustavení jednoho kusu kolejnice 60E1 jakosti R350HT na válečkovou dráhu, vyražení značky svaru razícím zařízením, protažení strojem a přibližné ustavení.
5. Ustavení jednoho kusu odlitku CrNi mezikusu na válečkovou dráhu, protažení strojem a přibližné ustavení.

6. Přesné ustavení obou dílů ve stroji, plošné a směrové vyrovnaní vizuální kontrolou pojížděných hran z obou stran, upnutí čelistmi stroje. Přesné ustavení obou profilů vůči sobě seřízením pravých pohyblivých čelistí v bočním a výškovém směru.



**Obr. 7.4** Svařovací stroj typ GAA 100/580

7. Svaření dílů podle nastaveného programu č.095 UIC60 CrNi a kol. (pro svar kolejnice s CrNi mezikusem).
8. Po uvolnění čelistí, byl svařenec po válečkové dráze přesunut mimo prostor svařovny a pomocí ochlazovacího zařízení byl svar řízeně ochlazován po dobu 3 minut.
9. Provedení obroušení svaru nahrubo na hlavě a na patě s přídavkem 0,5 mm, informativní kontrola rovinnosti pravítkem s vybráním pro svar.
10. Očištění čelistí svařovacího stroje pro přípravu dalšího svařování a opakované svařování dalších zkušebních vzorků dle bodů 4 až 9.
11. Po úplném vychladnutí svařenců došlo k zařezání CrNi mezikusů na délku 22 až 23 mm od svaru na pásové pile (Obr. 7.5).





**Obr. 7.5** Kolejnice 60E1 s přivařeným CrNi mezikusem

Dalším krokem bylo svaření předem připravených polotovarů kolejnic (Obr. 7.5) s kolejnicí materiálu 13Mn-B.

12. Na pracoviště byly dodány svařované součásti. Čela svařovaných dílů a kontaktní plochy na celé ploše dotyku s přívodovými čelistmi svařovacího stroje byly očištěny (broušením nebo obráběním) a to bezprostředně před svařením.
13. Posunutí polotovaru kolejnice po válečkové dráze do prostoru čelistí svařovacího stroje, protažení strojem a přibližné ustavení. Posunutí kolejnice materiálu 13Mn-B do prostoru čelistí svařovacího stroje, přibližné ustavení.
14. Přesné ustavení obou dílů ve stroji, plošné a směrové vyrovnaní vizuální kontrolou pojížděných hran z obou stran, upnutí čelistmi stroje. Přesné ustavení obou profilů vůči sobě seřízením pravých pohyblivých čelistí v bočním a výškovém směru.
15. Svaření dílů podle nastaveného programu č. 096 UIC60 Mn a CrNi (pro svar CrNi mezikusu s Mn srdcovkou).



**Obr. 7.6** Přivaření odlitku kolejnice materiálu 13Mn-B

16. Po uvolnění čelistí, byl svařenec po válečkové dráze přesunut mimo prostor svařovny a pomocí ochlazovacího zařízení byl svar řízeně ochlazován po dobu 3 minut.
17. Očištění čelistí svařovacího stroje pro přípravu dalšího svařování a opakované svařování dalších zkušebních vzorků dle bodů 13 až 16.
18. Posledním krokem byl odvoz svařených zkušebních vzorků pro provedení dalších operací (obrábění výrobků svarů, broušení a kontrola svarů).



**Obr. 7.7** Svařené zkušební vzorky (VZ-3 až VZ-8)

Průběh svarů byl monitorován a byl pořízen záznam ve formě grafů. Průběh svařování pro první svar kolejnice s CrNi mezikusem a pro druhý svar CrNi mezikusu s kolejnicí materiálu 13Mn-B zkušebního vzorku VZ-3 je uveden v příloze (Příloha H). Při kontrole grafických záznamů nebyly nalezeny chyby při svařovacím procesu.

Při monitorování průběhu svařování se graficky znázorňuje průběh působící síly (horní graf), působící proud (prostřední graf) a dráhy (dolní graf) v závislosti na čase. Průběh svařování je rozdělen barevně na jednotlivé fáze svařovacího procesu, kterými jsou:

- zarovnání čela,
- předehřev,
- svařování,
- přechování,
- dohřev.

## 8 Provedení zkoušek zkušebních vzorků

### 8.1 Vizualní kontrola

Při vizualní kontrole se zjišťují pouze povrchové vady pouhým okem, lupou, případně pomocí dalších kontrolních pomůcek. Svary byly kontrolovány po celém obvodu kolejnice (na hlavě, patě i stojině) u všech svařených vzorků.

Po svaření a vychladnutí byly zkušební vzorky umístěny na podpěry, do vhodné výšky, na osvětlené místo s dostatkem přírodního světla tak, aby byly dobře přístupné pracovníkům technické kontroly (TK) provádějícím vizualní kontrolu provedených svarů. U svarů byla následně provedena vizualní kontrola. Osvětlení v místnosti bylo kombinací přírodního světla a umělého osvětlení. Technik provedl hodnocení kvalitativních znaků svaru. Vizualní kontrola byla zaměřena zejména na:

- posouzení poškození povrchu nástroji nebo upínkami,
- poškození, rýhy způsobené broušením,
- profil svaru, tvar, rozměr a deformace kolejnic,
- rovinnost svaru na temeni hlavy a pojížděné hraně.

Pracovníci technické kontroly po provedení vizualní kontroly provedli zápis do protokolu zkoušky. Z protokolu je zřejmé, že nebyly na svarech nalezeny žádné povrchové vady svarů.

### 8.2 Kapilární zkouška

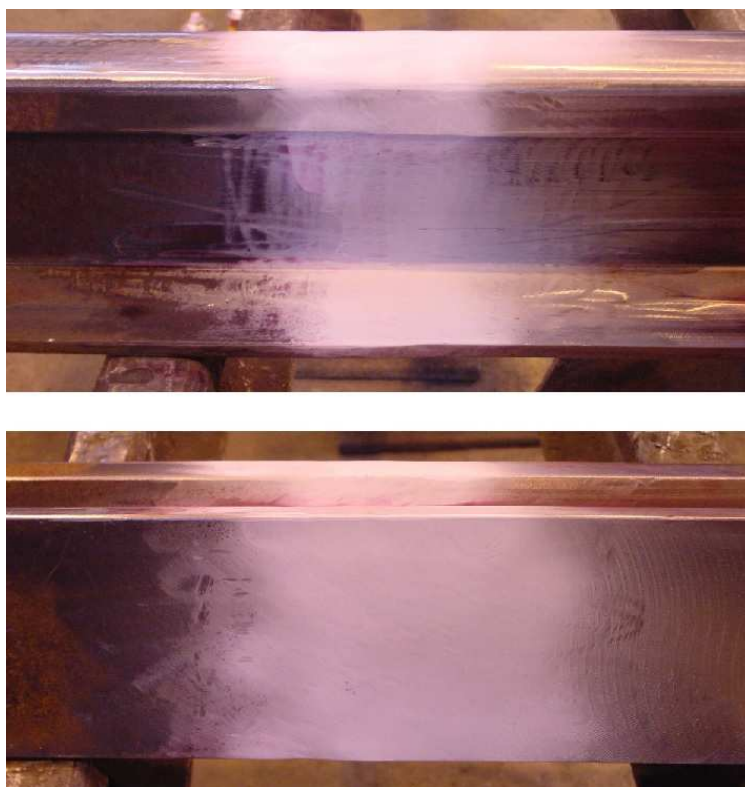
Kapilární zkouška byla provedena na všech zkušebních vzorcích (VZ-1 až VZ-8).

Postup kapilární zkoušky:

- Příprava povrchu - nejprve byl řádně očištěn, odmaštěn a usušen povrch zkoušených vzorků.
- Penetrace - pomocí nástřiku sprejem byla nanесena detekční kapalina vhodných vlastností. Penetrant se ponechal působit potřebný čas na povrchu vzorků (15 min.), tak aby se dostal do možných trhlin na povrchu.
- Odstranění přebytku penetrantu a sušení - ihned po uplynutí penetračního času byla odstraněna přebytečná detekční kapalina z povrchu vzorků otřením (penetrant nesmí zaschnout a nesmí dojít k vyplavení penetrantu z trhlin).



- Aplikace vývojky - dalším krokem zkoušky bylo, po osušení zkoušených vzorků, nanesení na povrch tzv. vývojky. Vývojka se chová jako absorbent, to způsobuje vzlínání penetrantu vniklého do trhlin. Nanesení proběhlo stejným způsobem jako u aplikace penetrantu a to, nástřikem. Pro získání potřebného kontrastu indikace případné trhliny má vývojka bílou barvu. Čas působení vývojky byl 15 min. Objevené vady se na povrchu kontrastně zviditelňují, Obr. 8.1.
- Vyhodnocení zkoušky - zkoušené vzorky byly vyhodnoceny pracovníkem technické kontroly. Výsledek byl zaznamenán do protokolu kapilární zkoušky (Příloha C). Z tohoto protokolu vyplývá, že všechny zkoušené vzorky vyhověly.
- Konečné očištění povrchu - po ukončení kapilární zkoušky byl povrch jednotlivých zkušebních vzorků očištěn.



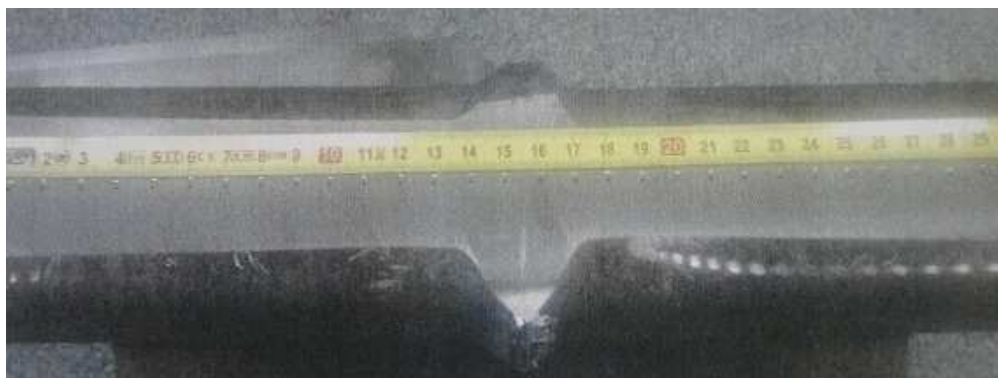
**Obr. 8.1** Kapilární zkouška

## **8.3 Zkouška tvrdosti**

### **8.3.1 Kontrola tvrdosti vzorku VZ-1**

Pro ověření vzniku negativně ovlivněné oblasti s klesající povrchovou tvrdostí na hlavě u kolejnic vyšších jakostí (R350HT), při použití nejen svařovací metody stykové s odtavením (ale např. i u aluminotermického svařování), byl svařen jeden zkušební vzorek s označením VZ-1. Na tomto zkušebním vzorku byla měřena povrchová tvrdost.

Před vlastním měřením povrchové tvrdosti na hlavě kolejnic byla zkoušená plocha zkušebního vzorku (VZ-1) upravena jemným broušením o 0,5 mm. Měření bylo provedeno metodou HBW 2,5/187,5 v jedné řadě v ose kolejnic v délce 290 mm (145 mm na každou stranu od osy svaru). Protože se jednalo pouze o informativní měření povrchové tvrdosti krok měření byl zvolen na 10 mm, viz. Obr. 8.2.

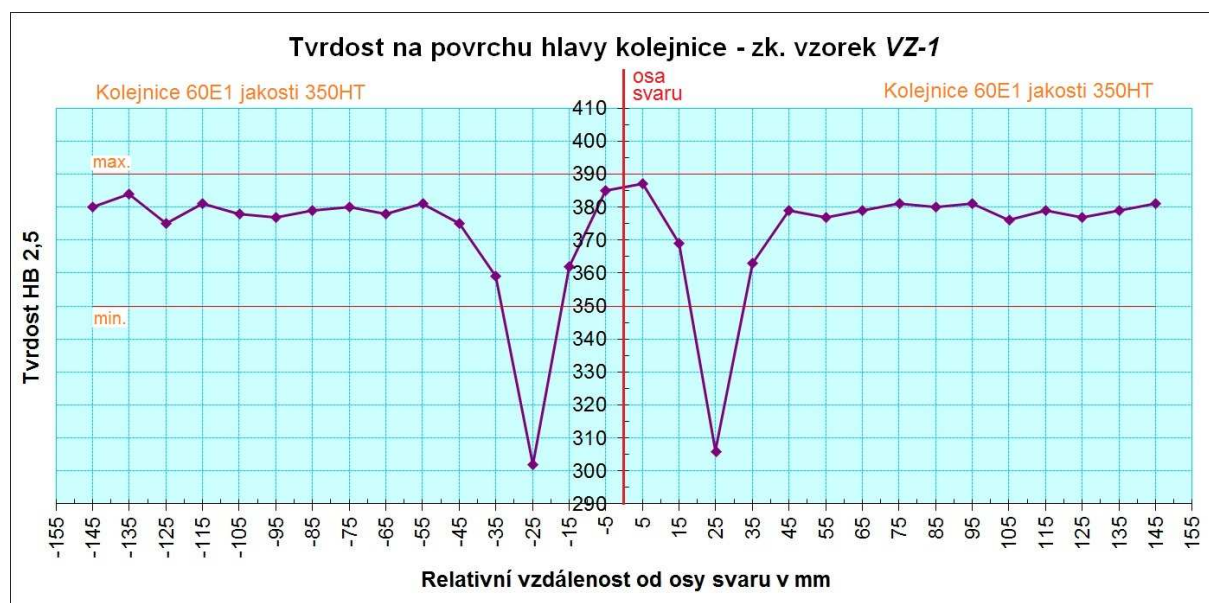


**Obr. 8.2** Vzorek VZ-1 - měření tvrdosti

Požadované kritérium pro hodnocení tvrdosti:

- min. 350, max. 390 HBW 2,5 pro celou délku zkoušené oblasti.

Výsledky měření povrchové tvrdosti na povrchu hlavy kolejnic u vzorku VZ-1 jsou uvedeny v příloze (Příloha D). Naměřené hodnoty byly zaneseny do grafu.



**Obr. 8.3** Tvrdost na povrchu hlavy kolejnice - vz. VZ-1

Z grafu měření povrchové tvrdosti na hlavě kolejnic zkušebního vzorku VZ-1 jsou viditelné dvě malé oblasti s výrazným poklesem povrchové tvrdosti. Tyto změny snížení

povrchové tvrdosti přesahují oblast tepelného ovlivnění (zóna austenitizace), která dosahuje asi 16 mm na každou stranu od osy svaru.

Takovéto výrazné snížení povrchové tvrdosti kolejnic na malé vzdálenosti v praxi způsobuje problémy s dodržením kvality koleje, kdy dochází k podélnému projetí svaru a následně až k možnému vydrolování materiálu z povrchu kolejnice. Takovým důsledkům musíme zabránit a to, použitím řízeného ochlazování proudem vzduchu po svaření (viz. kapitola 4.2).

### 8.3.2 Kontrola tvrdosti vzorku VZ-2

Povrch hlavy kolejnice zkoušeného vzorku byl před měřením tvrdosti upraven frézováním o 0,5 mm. Měření bylo provedeno metodou HBW 2,5/187,5 ve dvou řadách v délce 120 mm, a to:

- na temeni hlavy kolejnice v podélné ose kolejnice,
- v podélném řezu osou kolejnice do hloubky 3 mm od horní hrany hlavy kolejnice.

Počátek byl zvolen na hranici CrNi mezikusu a odlitku kolejnice z materiálu 13Mn-B.

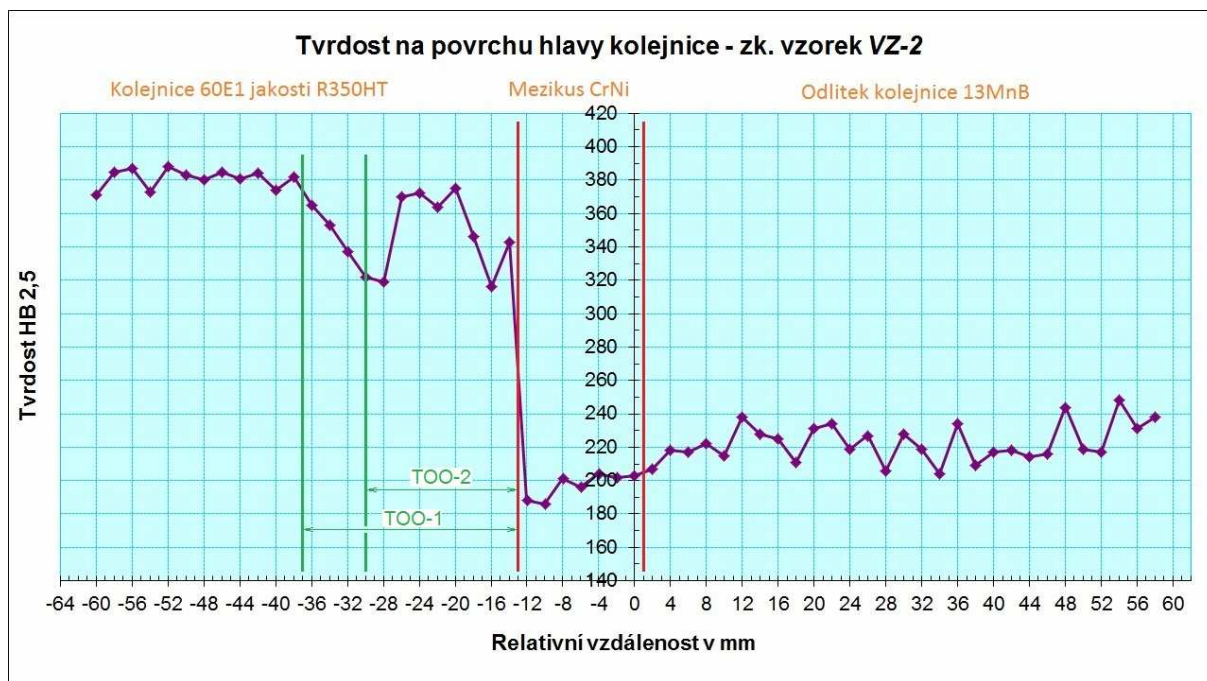
#### Požadované kritérium pro hodnocení tvrdosti:

- pro odlitek ve tvaru kolejnice 60E1 z materiálu 13Mn-B - pouze informativně,
- pro CrNi mezikus - min. 180 HV30,
- pro kolejnice jakosti R350HT:
  - min. 350, max. 390 HBW 2,5 pro tepelně neovlivněnou oblast,
  - min. 300, max. 410 HBW 2,5 pro tepelně ovlivněnou oblast.

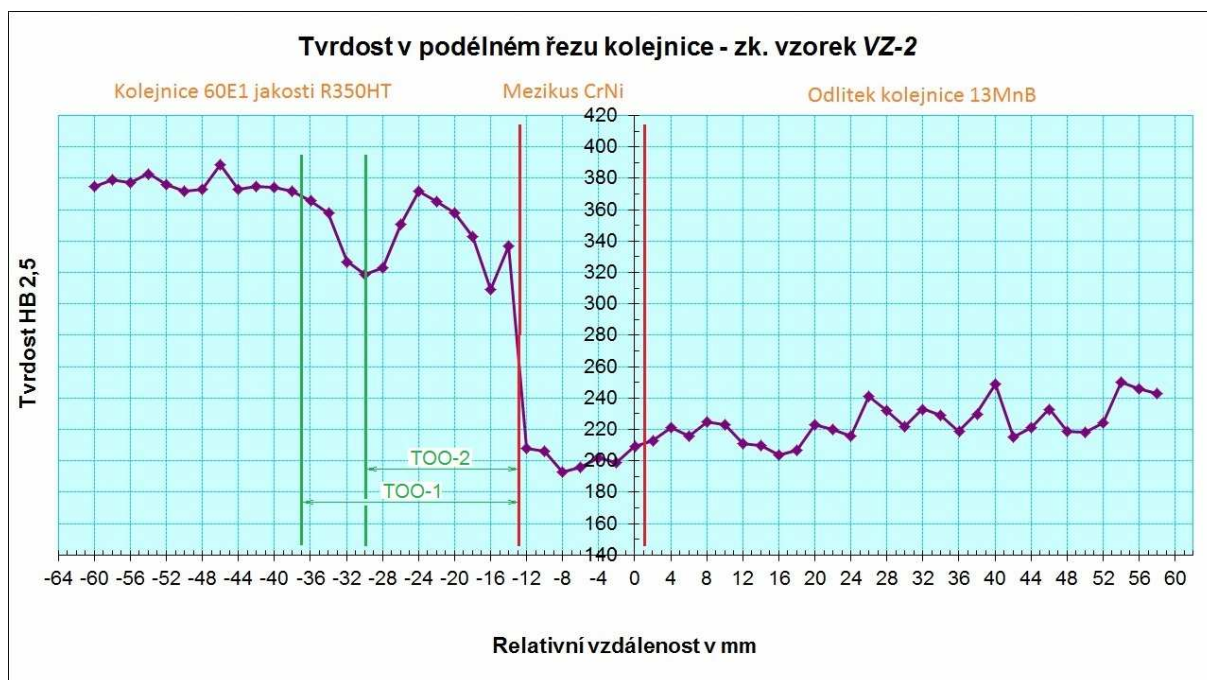
Výsledky měření tvrdosti na povrchu hlavy a tvrdosti v podélném řezu kolejnice jsou uvedeny v příloze (Příloha D). Naměřené hodnoty byly zaneseny do grafu závislosti tvrdosti na relativní vzdálenosti (Obr. 8.4 - tvrdost na povrchu hlavy kolejnice a Obr. 8.5 - a tvrdost v podélném řezu kolejnice; červeně zvýrazněna oblast ztavení, zeleně oblast tepelně ovlivněné oblasti). Dosah změn tvrdosti přesahuje zónu austenitizace, tj. makroskopicky evidované pásmo tepelného ovlivnění (vyznačeno jako TOO-2). Pásmo odpevnění dosahuje cca 24 mm od linie ztavení (vyznačeno jako TOO-1).

U perlitické oceli (kolejnice jakosti R350HT) je viditelný vliv opakované austenitizace, s dosahem cca 3-4 mm od linie ztavení s austenitickou ocelí (mezikus CrNi). Tato opakovaná fázová změna je spojena s odpovídajícími strukturními změnami a následným opevněním materiálu v blízkosti tepelného pásma cca 700 °C. Do hloubky cca

35 mm od povrchu hlavy kolejnice došlo ke vzniku dvou pásem s minimální tvrdostí s pozitivním vlivem vzhledem k hornímu dovolenému limitu tvrdosti tepelně ovlivněné oblasti perlitické oceli. Z výsledků vyplývá, že materiál v hodnocených oblastech vyhovuje požadovaným kritériím. (Pozn. Použitá metoda měření tvrdosti neodráží vliv lokálně pozorovaného pásma promísení dosahujícího tloušťky cca 300  $\mu\text{m}$ ).



**Obr. 8.4** Tvrdost na povrchu hlavy kolejnice - vz. VZ-2



**Obr. 8.5** Tvrdost v podélném řezu kolejnice - vz. VZ-2



## 8.4 Zkouška ohybem

Pro zkoušku ohybem (Statická zkouška třibodovým ohybem) byly použity tři zkušební vzorky s označením VZ-3, VZ-4, VZ-5. Zkouška byla provedena na statickém zkušebním zařízení - pulzátoru (Obr. 8.6). K pístu hydraulického válce umístěného v rámu v horní části zkušebního zařízení byl připevněn přípravek, jehož spodní část (která je při zkoušce v kontaktu se zkoušeným vzorkem) měla tvar půlválce s poloměrem zaoblení 30 mm. Na snímač síly, umístěný ve spodní části zkušebního zařízení, byl nasazen a šrouby připevněn ocelový stůl, na který byly ve vzájemné vzdálenosti 1 000 mm umístěny podpory tvaru půlválce s poloměrem zaoblení 30 mm takovým způsobem, aby se střed svaru zkoušeného vzorku nacházel přesně pod přípravkem upevněným k pístu hydraulického válce a zároveň se střed svaru zkoušeného vzorku nacházel přesně v polovině vzájemné vzdálenosti podpěr. Podpory byly následně zajištěny proti možnému podélnému posunutí. Potom byl spuštěn rám zkušebního zařízení tak, aby došlo ke kontaktu přípravku upevněného na pístu hydraulického válce a hlavy zkoušeného vzorku svaru kolejnic. Volné konce zkoušeného vzorku byly opatřeny ochranným ocelovým rámem, jenž byl upevněn ke stolu zkušebního zařízení.

Zkoušený vzorek byl zatěžován postupně vzrůstající zatěžující silou až do jeho destrukce. Po celou dobu zatěžování byly zaznamenávány zatěžující síly a dráha pístu hydraulického válce (průhyb zkoušeného vzorku).



**Obr. 8.6** Zkušební zařízení Schenck pro zkoušku ohybem

Při zkoušce ohybem byly měřeny následující veličiny:

- $s$  [mm] ... dráha pístu hydraulického válce,
- $F$  [N] ... síla měřená integrovaným snímačem síly hydraulického válce.

*Popis zpracování naměřených veličin* - V případě zkoušky ohybem byly měřené veličiny přeneseny do standardního kancelářského počítače a zpracovány v aplikaci Microsoft Excel 2010. Z naměřených průběhů zatěžující síly a dráhy pístu hydraulického válce (průhybu zkoušeného vzorku) byly vytvořeny jejich grafické závislosti, z nichž pak byly odečteny hodnoty maximálních sil a průhybů při porušení zkoušených vzorků. Tyto hodnoty byly včetně označení zkoušených vzorků a minimálních přípustných hodnot zatěžující síly a průhybu zaznamenány do tabulky (Tab. č. 8).

Tab. č. 8: Ohybová zkouška - max. hodnoty síly a průhybu při porušení zk. vzorků

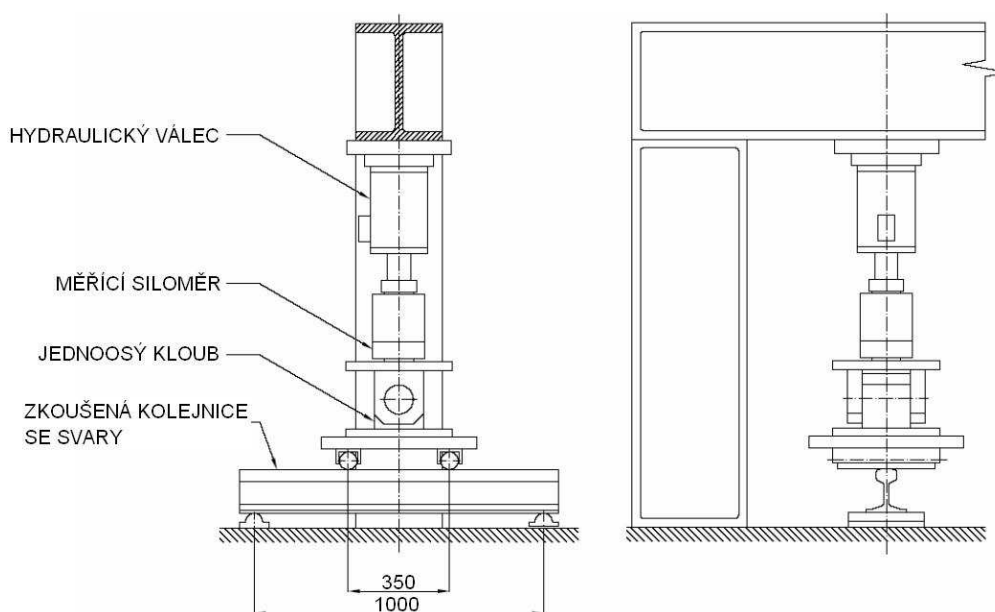
Označení vzorku	Síla při porušení $F_{\max}$ [kN]	Min. přípustná hodnota síly $F_{\min}$ [kN]	Průhyb při porušení $s_{\max}$ [mm]	Min. přípustná hodnota průhybu $s_{\min}$ [mm]
VZ-3	1 038,6	850	37,1	17
VZ-4	1 062,1		45,9	
VZ-5	927,4		34,2	
Průměr	1 009,37		39,07	

Grafické závislosti průhybu zkoušených vzorků na zatěžující síle, fotografická dokumentace a náčrty lomových ploch jsou uvedeny v příloze (Příloha E). Z výsledků je zřejmé, že hodnoty vyhovují stanoveným požadavkům síly a průhybu.

## 8.5 Únavová zkouška

Pro únavovou zkoušku (Dynamická zkouška čtyřbodovým ohybem) byly použity tři zkušební vzorky s označením VZ-6, VZ-7, VZ-8. Pro zkoušku byl sestaven ocelový portál, který se skládal z podstavních desek, dvou stojin a jednoho příčného nosníku. Jednotlivé díly byly spojeny pomocí ocelových šroubů a matic. Potom byl portál upevněn ocelovými svorníky k podlaze. Na příčný nosník portálu byl svisle připevněn hydraulický válec s integrovaným snímačem síly a dráhy, na který byl přes jednoosý kloub namontován přípravek pro vnášení svislých sil do zkoušeného vzorku. Přípravek se skládal z ocelové desky a dvou příčně upevněných ocelových válečků s držáky. Podélné osy válečků byly vzájemně vzdáleny 350 mm.

Na podlahu pod hydraulický válec, byly ustaveny válcové podpěry ve vzájemné vzdálenosti 1 000 mm takovým způsobem, aby střed svaru zkoušeného vzorku byl v zákrytu se svislou osou hydraulického válce a zároveň aby se nacházel střed svaru zkoušeného vzorku přesně v polovině vzájemné vzdálenosti podpěr (čili aby byla každá z podpěr vzdálena 500 mm od středu svaru zkoušeného vzorku). Podpěry byly následně zafixovány proti možnému podélnému a příčnému posunutí. Na podpěry byl výše uvedeným způsobem ustaven zkoušený vzorek. Následně byl postupně vysouván píst hydraulického válce, dokud nedošlo ke kontaktu na něm namontovaného přípravku a temena kolejnice zkoušeného vzorku (Obr. 8.7).



**Obr. 8.7** Schématické znázornění zkušebního zařízení únavové zkoušky

Výpočet zatěžující síly  $F_{max}$  a  $F_{min}$ :

$$W_{op} = \frac{J_x}{X_n} = \frac{3083}{8,095} = \underline{\underline{380,852}} \text{ [cm}^3\text{]}$$

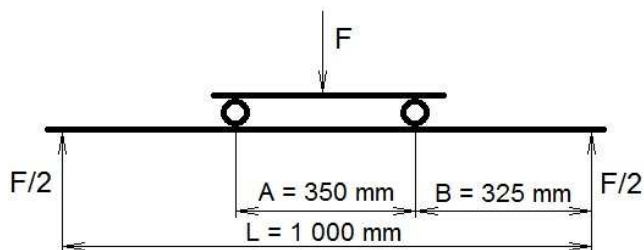
Dle [2] volím  $\sigma_{op} = 15 \div 150$  [MPa]:

Zatěžující síla:

$$\sigma_{op} = \frac{F/2 * B}{W_{op}} \Rightarrow F = \frac{2 * \sigma_{op} * W_{op}}{B} \text{ [N]}$$

$$F_{max} = \frac{2 * \sigma_{op} * W_{op}}{B} = \frac{2 * 150 * 380852}{325} = \underline{\underline{351,6}} \text{ [kN]}$$

$$F_{min} = \frac{2 * \sigma_{op} * W_{op}}{B} = \frac{2 * 15 * 380852}{325} = \underline{\underline{35,2}} \text{ [kN]}$$



Na začátku vlastní zkoušky byl zkoušený vzorek nejdříve zatížen statickou silou o velikosti 193,4 kN, to představuje střední hodnotu ze stanoveného rozsahu dynamického zatěžování. Potom byl podroben dynamickému zatěžování silou harmonického průběhu (tvaru sinusoidy) v rozsahu 35,2 až 351,6 kN (to odpovídá povrchovému napětí na patě kolejnice v rozsahu 15 až 150 MPa) v počtu  $5 \times 10^6$  zatěžovacích cyklů nebo do zlomení. Zatěžování všech zkoušených vzorků probíhalo harmonickou silou o frekvenci 6 Hz.

Při únavové zkoušce byly měřeny následující veličiny:

- $s$  [mm] ... dráha pístu hydraulického válce,
- $F$  [N] ... síla měřená integrovaným snímačem síly hydraulického válce.

*Popis zpracování naměřených veličin* - V případě únavové zkoušky nebyly měřené veličiny žádným způsobem zaznamenávány ani zpracovávány. Sloužily pouze pro řízení pohybu hydraulického válce centrální řídicí jednotkou.

*Výsledek zkoušky* - U žádného zkoušeného vzorku nedošlo během únavové zkoušky k destrukci. Po ukončení zkoušky (do každého zkoušeného vzorku bylo vneseno  $5 \times 10^6$  zatěžovacích cyklů) byla u vzorků VZ-6 a VZ-8 zjištěna trhлина v hlavě Mn kolejnice vzniklá v důsledku nadměrného kontaktního namáhání v místě styku s válečkem zatěžovacího přípravku. Oblast svaru nebyla nijak porušena. Fotografická dokumentace zkoušených vzorků po provedené únavové zkoušce je uvedena v příloze (Příloha F).

### **8.5.1 Zkouška k ověření úrovně povrchového napětí v patě kolejnice**

Po ukončení únavové zkoušky byly dva zkoušené vzorky s trhlinou na hlavě (označení VZ-6 a VZ-8) podrobeny zkoušce k ověření velikosti povrchového napětí na patě kolejnice dosaženého při zatížení maximální zatěžující silou.

Na patu kolejnice byl v místě svaru v podélné ose kolejnice nalepen tenzometrický snímač (Obr. 8.8) a propojen s měřicím zařízením. Zkoušený vzorek byl vložen do zkušebního zařízení použitého pro provedení zkoušky ohybem, u kterého byl upraven zatěžovací přípravek namontovaný na píst hydraulického válce tak, aby geometrické uspořádání celého zkušebního zařízení přesně odpovídalo sestavě únavové zkoušky (tzn. vzdálenost spodních podpor 1 000 mm, rozteč horních zatěžovacích válečků 350 mm, vše uspořádáno souměrně ke středu svaru zkoušeného vzorku). Následně byl vzorek zatěžován postupně vzrůstající silou až do dosažení maximální hodnoty o velikosti 351,6 kN. Po jejím dosažení byla na displeji měřicího zařízení odečtena hodnota povrchového napětí na patě kolejnice a zkoušený vzorek byl postupně odlehčován.



Zatížení a odlehčení obou zkoušených vzorků bylo provedeno celkem třikrát. Měřené hodnoty byly zaznamenávány do tabulky.



**Obr. 8.8** Tenzometrický snímač umístěný na patě kolejnice v místě svaru

Při zkoušce k ověření úrovně povrchového napětí v patě kolejnice byly měřeny tyto veličiny:

- $F$  [N] ... síla měřená integrovaným snímačem síly hydraulického válce,
- $\sigma$  [Pa] ... povrchové napětí v patě kolejnice.

*Popis zpracování naměřených veličin* - V případě zkoušky k ověření úrovně povrchového napětí v patě kolejnice byly měřené veličiny odečítány z displeje měřicího zařízení a ručně zaznamenávány do tabulky.

Výsledek zkoušky je uveden v následující tabulce (Tab. č. 9), tím bylo potvrzeno, že vzniklá trhlina na hlavě Mn kolejnice neovlivnila průběh dynamické zkoušky.

Tab. č. 9: Povrchové napětí v patě kolejnice při zatížení maximální silou

Pořadové číslo měření	Povrchové napětí v patě u vzorku VZ-6 [MPa]	Povrchové napětí v patě u vzorku VZ-8 [MPa]
1	156	168
2	157	162
3	155	163
Průměr	156	164,3

## 8.6 Zkouška makrostruktury

Pro zkoušku makrostruktury byl použit zkušební vzorek VZ-2, na kterém již byla měřena povrchová tvrdost. Makrostruktura svarového spoje byla provedena na svislém podélném řezu celým profilem svislou osou kolejnice. Řezná plocha byla vyleštěna smirkovým papírem zrnitosti 220. Aby byly lépe čitelné hraniční čáry svaru, byl povrch naleptán 3% Nitalém. Leptání proběhlo za teploty okolí (cca 21°C) po dobu asi 30 min.

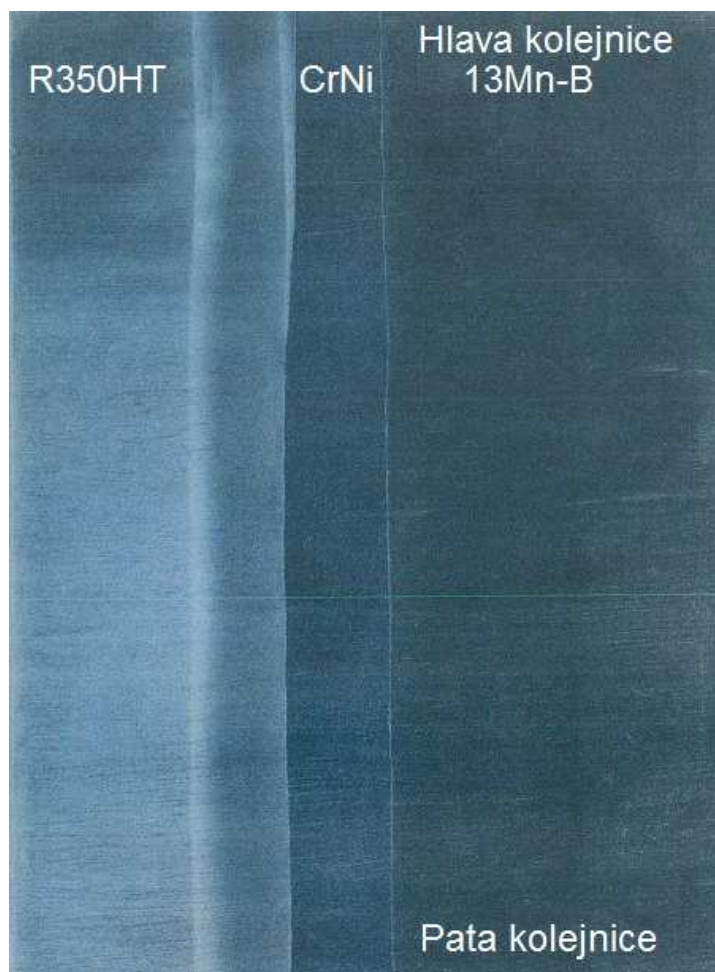
Pozorování bylo provedeno vizuálně pouhým okem (lupa) a pro malé zvětšení byl použit optický mikroskop.

Požadované kritérium pro zkoušku makrostruktury: [2]

- Zkušební vzorky nesmí vykazovat známky neprovaření svaru, vměstky, trhliny nebo sraženiny. Indikace, které nemohou být pozitivně indikovány zkouškou makrostruktury, musí být podrobeny zkoušce mikrostruktury (zvětšeno 100x).
- Zkušební vzorky nesmí vykazovat známky zkřehnutí v důsledku svařování, ochlazování nebo opracování.

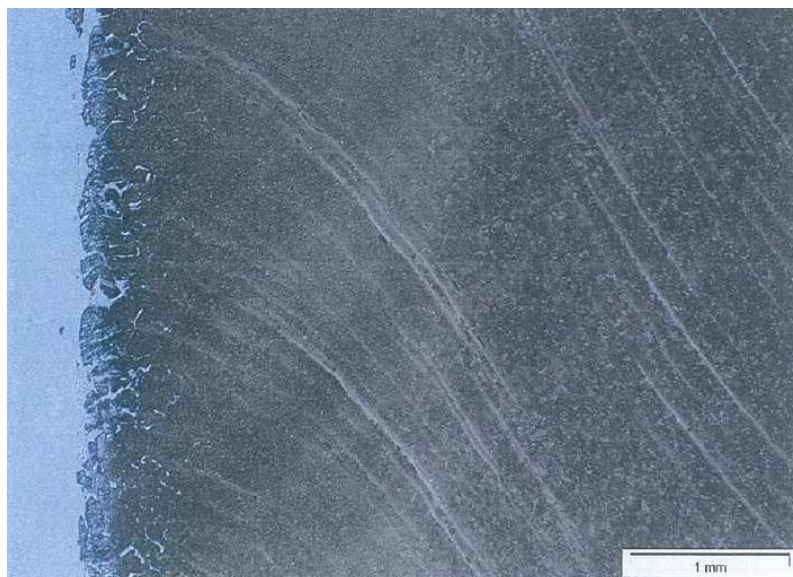
Výsledky makroskopického rozboru:

Makroskopický snímek osového podélného řezu zkušebním vzorkem svarového spoje je vidět na Obr. 8.9. Po prozkoumání nebyly zjištěny žádné makroskopické vady svarového spoje. Mimo oblast svarového spoje, hlavně v okolí hlavy kolejnice, byl v materiálu 13Mn-B zaznamenán výskyt makroskopických nespojitostí (tato oblast byla podrobněji prozkoumána při mikroskopické zkoušce - kapitola 8.7).

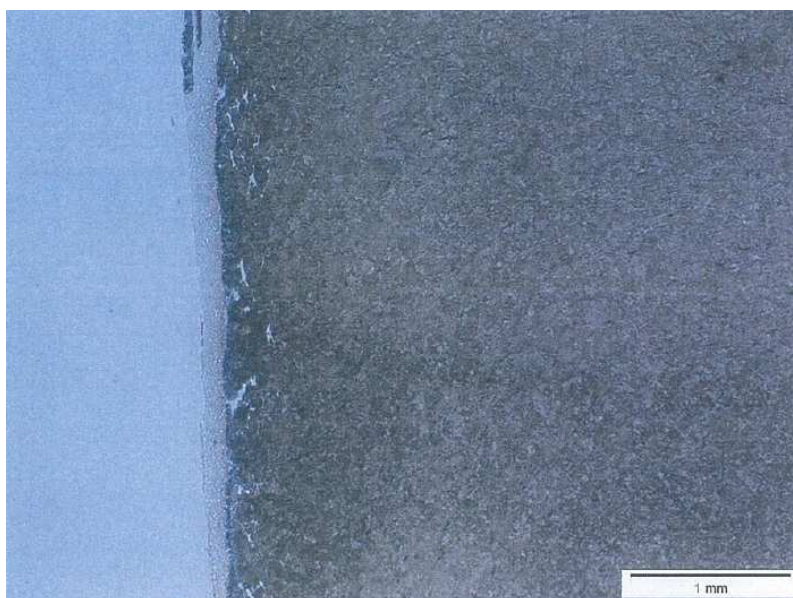


**Obr. 8.9** Makroskopický snímek svarového spoje - vz. VZ-2

Podél hranice ztavení převládá u materiálu jakosti R350HT (perlitická ocel) efekt oduhličení. Byly zjištěny pouze minimální oblasti promísení s austenitickou ocelí CrNi mezikusu, viditelné na Obr. 8.10 a Obr. 8.11 ve 25-ti násobném zvětšení. Dále byly zřetelně rozlišitelné heterogenní oblasti, kopírující materiálový tok v dosahu plastického přetvoření materiálu jakosti R350HT. Tepelně ovlivněná oblast perlitické oceli je 18 mm v oblasti hlavy a 16 až 17 mm v oblasti paty kolejnice.



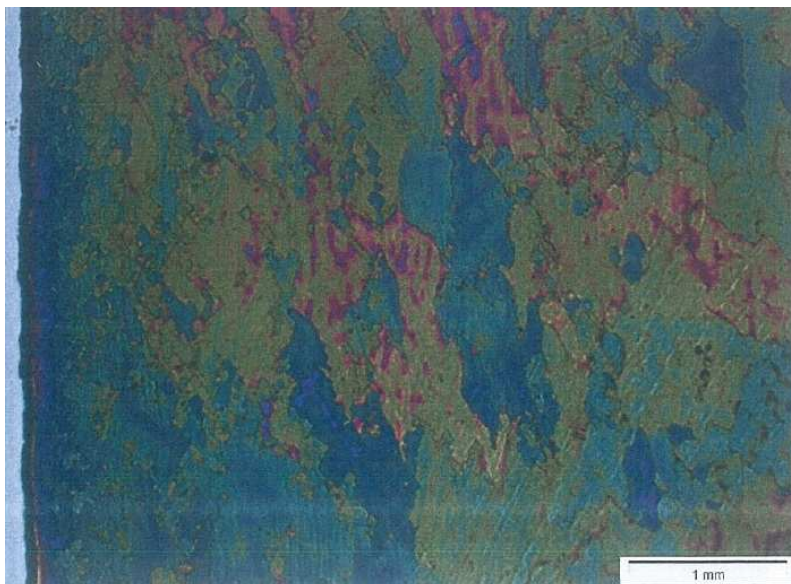
**Obr. 8.10** *Oblast promísení a plastické přetvoření na hranici ztavení-hlava - vz. VZ-2*



**Obr. 8.11** *Oblast promísení a plastické přetvoření na hranici ztavení-pata - vz. VZ-2*

U materiálu 13Mn-B došlo, podél svarového rozhraní, ke zjemnění zrna a podíl sraženin byl v této oblasti vlivem plastického přetvoření nižší (Obr. 8.12).





zvětšeno 25x

**Obr. 8.12** Zjemnění zrna u materiálu 13Mn-B podél hranice ztavení - vz. VZ-2

## 8.7 Zkouška mikrostruktury

Pro zkoušku mikrostruktury byl opět použit zkušební vzorek VZ-2, na kterém již proběhly zkoušky měření povrchové tvrdosti a makrostruktury. Mikrostruktura svarového spoje byla provedena na dvou vzorcích odebraných ze svislého podélného řezu svislou osou profilu kolejnice. Jeden vzorek byl odebrán z oblasti hlavy a druhý z oblasti paty kolejnice. Zkoumané plochy vzorků byly vyleštěny smirkovým papírem a pro zviditelnění textury hranic zrn, byl povrch naleptán. Pozorování bylo provedeno pomocí optického mikroskopu.

Požadované kritérium pro zkoušku mikrostruktury: [2]

- Zkouška mikrostruktury je povinná v případě, že nebyla provedena žádná únavová zkouška.
- Zkušební vzorky nesmí vykazovat známky zkřehnutí v důsledku svařování, např. jehlový karbid, průběžná síťová intergranulárních karbidů při 100 násobném zvětšení, a další. Izolovaný martenzit se připouští.

Výsledky mikroskopického rozboru - svarové rozhraní R350HT / X8CrNi20-8:

Typická mikrostruktura svarem neovlivněné perlitické oceli v oblasti hlavy kolejnice je vidět na Obr. 8.13. Místy je pozorován zvýšený výskyt sulfidů, ten může negativně ovlivňovat únosnost svarového spoje, hlavně ve spojení se strukturní heterogenitou v plasticky přetvořené oblasti podél svarového rozhraní, situace je dobře viditelná na Obr. 8.9. Obr. 8.14 a Obr. 8.15 ukazují tuto situaci ve sto násobném zvětšení.



zvětšeno 100x



zvětšeno 250x

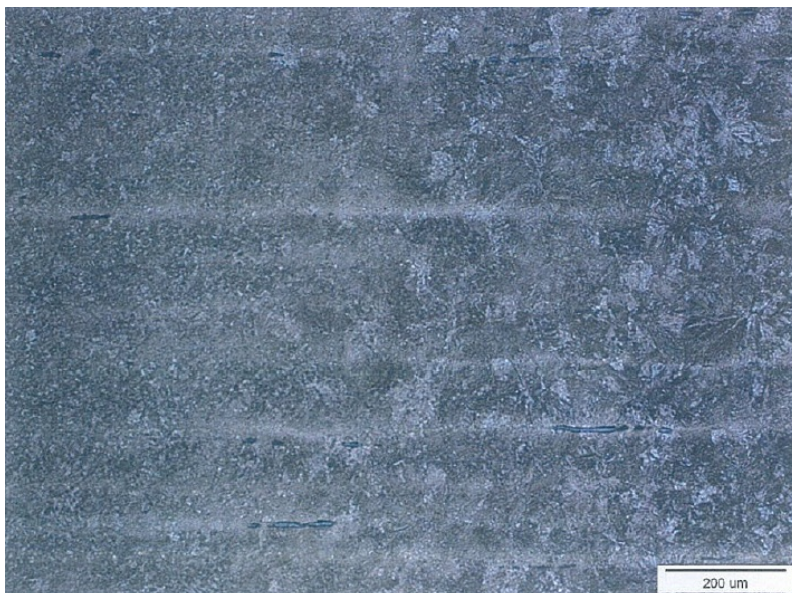
**Obr. 8.13** *Typická mikrostruktura tepelně neovlivněné oceli R350HT - vz. VZ-2*



zvětšeno 100x

**Obr. 8.14** *Oblast sulfidů v TOO oceli R350HT - vz. VZ-2*

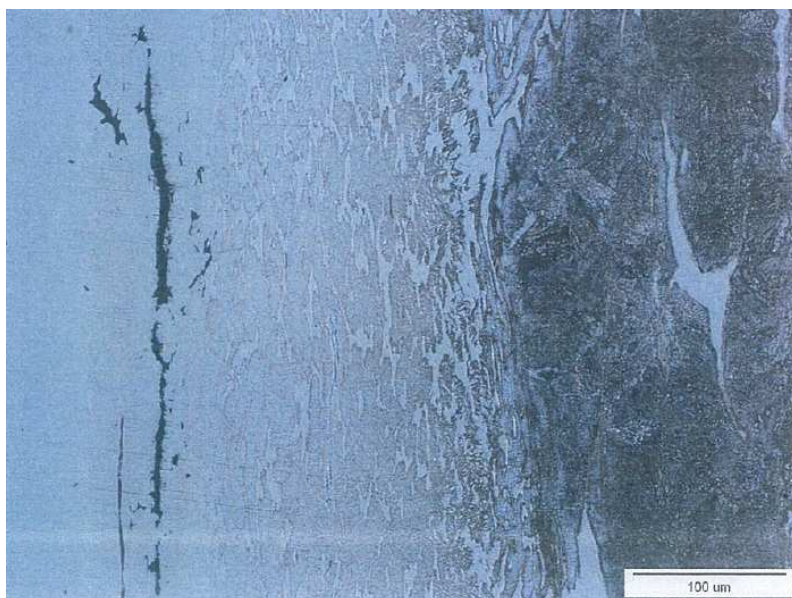




zvětšeno 100x

**Obr. 8.15** Oblast sulfidů - přechod z TOO do zákl. mat. oceli R350HT - vz. VZ-2

V tepelně ovlivněné oblasti ani podél svarového rozhraní perlitické oceli nebyly nalezeny žádné mikroskopické vady povahy trhlin, prasklin nebo dutin. U materiálu CrNi mezikusu (ocel X8CrNi20-8) byly objeveny mikroskopické nespojitosti, jejich výskyt byl pouze lokální v oblasti paty kolejnice. Nebyl pozorován souvislý výskyt těchto mikroskopických vad. Velikost jednotlivých vad dosahoval délek max. 200 μm a byly izolovány okolní austenitickou maticí (Obr. 8.16).

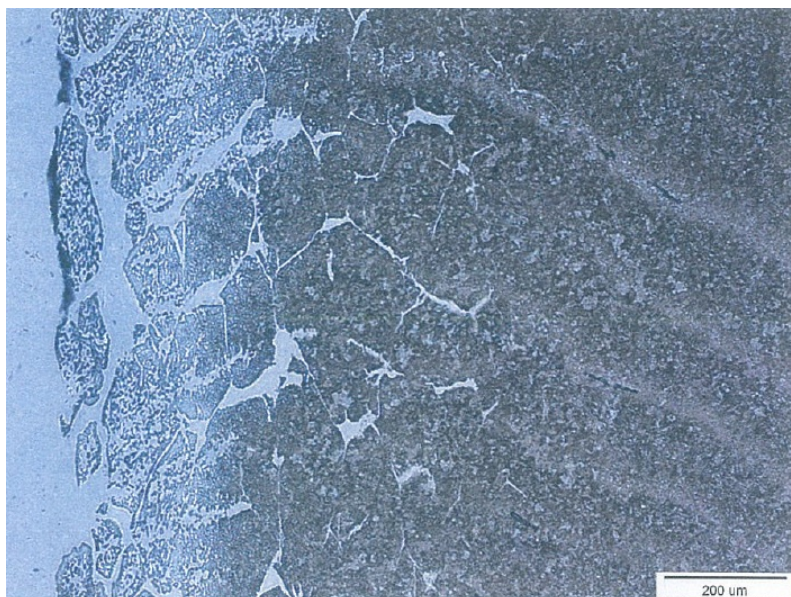


zvětšeno 250x

**Obr. 8.16** Mikroskopické nespojitosti v mat. mezikusu (X8CrNi20-8) a výskyt ostrůvku martenzitu v oceli R350HT - vz. VZ-2

Z hlediska strukturního vlivu svařování na perlitickou ocel převládá efekt intenzivního zjemnění zrna a oduhličení (Obr. 8.17). Těsně podél linie ztavení s austenitickým

materiálem mezikusu došlo u materiálu oceli R350HT ke vzniku lokálních rozpadových strukturních složek. Jedná se o izolované ostrůvky matrenzitu (popř. bainitu) v oblasti paty kolejnice. V žádné ze zkoumaných oblastí nebyl nalezen souvislý výskyt křehkých strukturních složek. Vzhledem k mikroskopickým rozměrům těchto útvarů nebyl jejich vliv na tvrdost na hranici ztavení podchycen použitou metodou měření tvrdosti. Přesné stanovení podílu jednotlivých fází nebylo součástí zkoušky mikrostruktury.

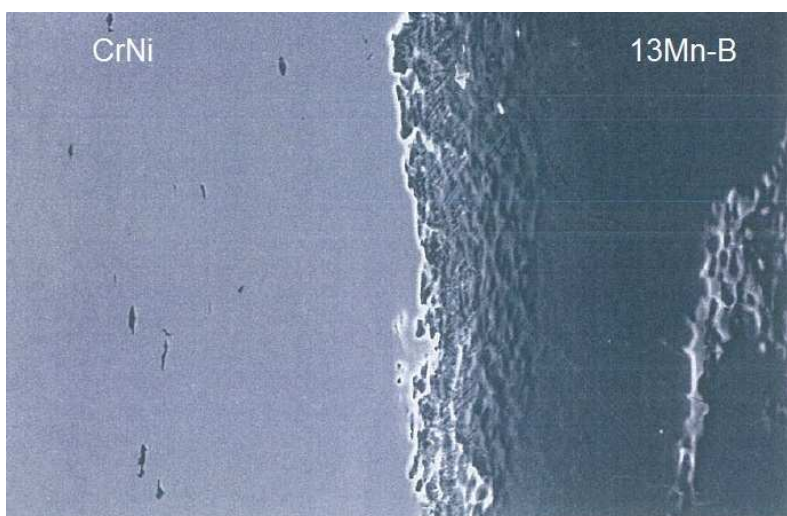


zvětšeno 100x

**Obr. 8.17** Zjemnění zrna a oduhličení u oceli R350HT - vz. VZ-2

Výsledky mikroskopického rozboru - svarové rozhraní 13Mn-B / X8CrNi20-8:

Na hranici ztavení mezi materiály 13Mn-B a X8CrNi20-8 nebyly zjištěny žádné podstatné nespojitosti. Mikroskopické vady se objevují v těsné blízkosti hranice ztavení, a to jen v materiálu mezikusu (X8CrNi20-8), viz. Obr. 8.18.

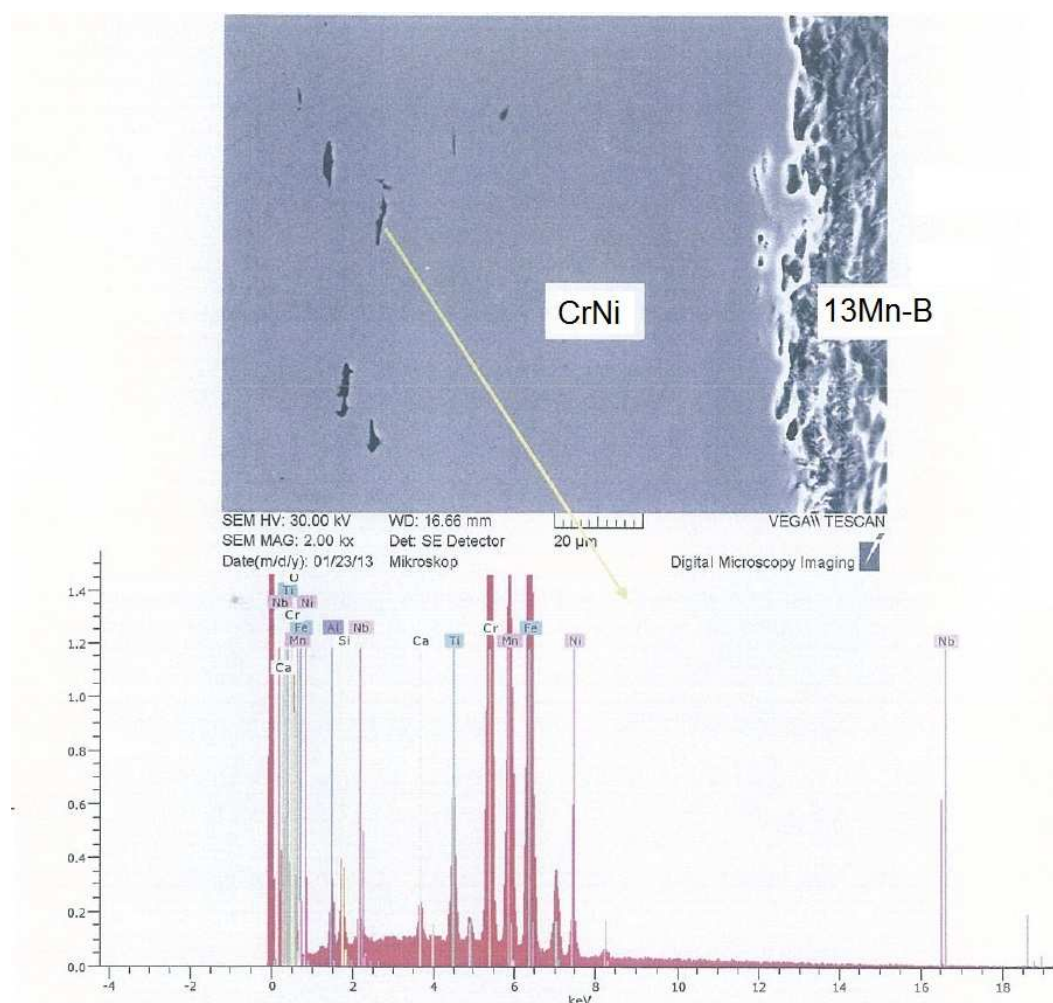


zvětšeno 250x

**Obr. 8.18** Mikroskopické nespojitosti v mat. mezikusu (X8CrNi20-8) - vz. VZ-2



Z důvodu zjištění zdroje těchto vad, byla provedena chemická mikroanalýza (Obr. 8.19). Chemickou mikroanalýzou bylo zjištěno, že původ vad má souvislost s původní metalurgickou jakostí oceli X8CrNi20-8. Vady nečistot v CrNi mezikusu, zejména komplexních oxidických vměstků s obsahem Ti, Al, Ca, způsobily v důsledku rychlých teplotních změn a plastického přetvoření v okolí spoje k iniciaci mikroskopických vad. Jedná se o stejný efekt, který byl pozorován i podél linie ztavení CrNi mezikusu s materiálem R350HT (Obr. 8.16). Z hlediska vlivu na celkovou únosnost svarového spoje je důležité, že výskyt těchto mikroskopických vad není vázán na nežádoucí strukturní změny (tzn. v okolí matice si zachovává austenitickou stavbu).



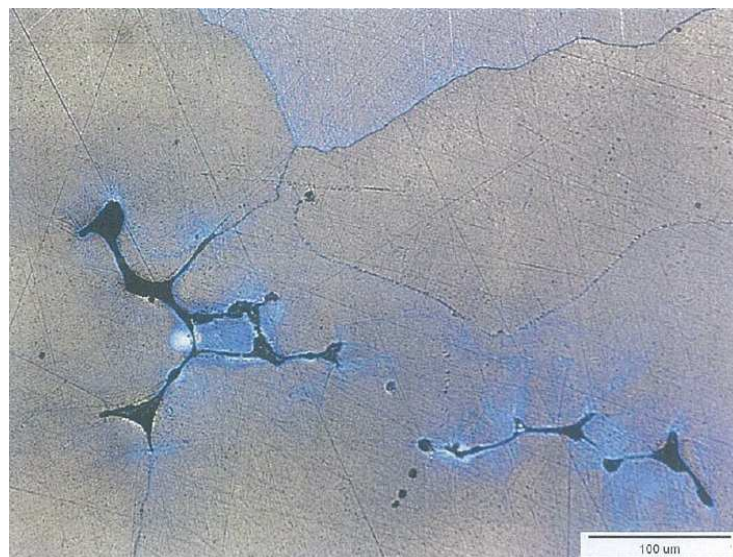
Mass percent (%)

Spectrum	O	Al	Si	Ca	Ti	Cr	Mn	Fe	Ni	Nb
Acquisition	21,41	1,81	1,76	0,59	3,72	22,31	12,34	27,23	2,43	7,18
Acquisition 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Acquisition 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mean value:	7,14	0,60	0,59	0,20	1,24	7,44	4,11	9,08	0,81	2,39
Sigma:	12,36	1,04	1,02	0,34	2,15	12,88	7,13	15,72	1,40	4,14
Sigma mean:	7,14	0,60	0,59	0,20	1,24	7,44	4,11	9,08	0,81	2,39

**Obr. 8.19** Chemická mikroanalýza nespojitostí v mat. X8CrNi20-8 - vz. VZ-2



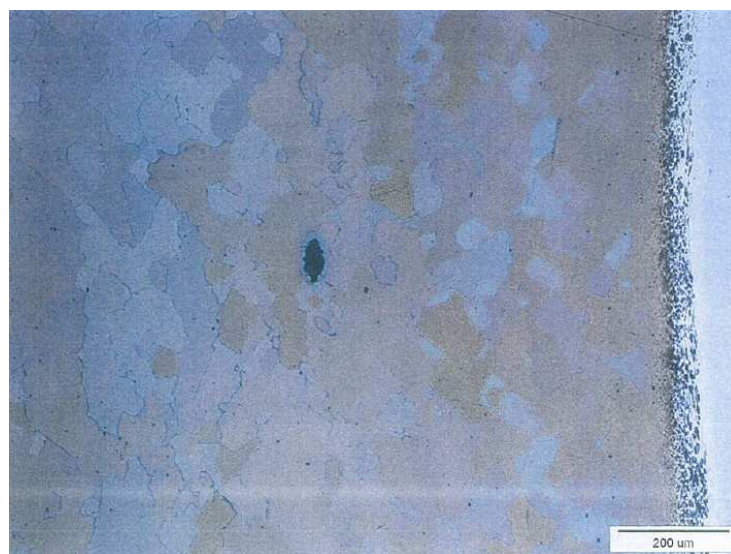
U zjištěných nespojitostí v tepelně ovlivněné oblasti oceli 13Mn-B, pozorovaných i při makroskopické zkoušce, bylo prokázáno, že se jedná o výchozí licí vady oceli. V oblasti hlavy kolejnice byl zjištěn větší výskyt mikroředin, z hlediska vlivu svařování na únosnost spoje nebyla zjištěna tendence rozvoje těchto licích vad formou trhlin do svarového spoje (Obr. 8.20). Lokálně, v dosahu plastického přetvoření, bezprostředně u hranice ztavení došlo naopak ke snížení výskytu těchto nespojitostí.



zvětšeno 250x

**Obr. 8.20** Výskyt mikroředin v TOO oceli 13Mn-B - vz. VZ-2

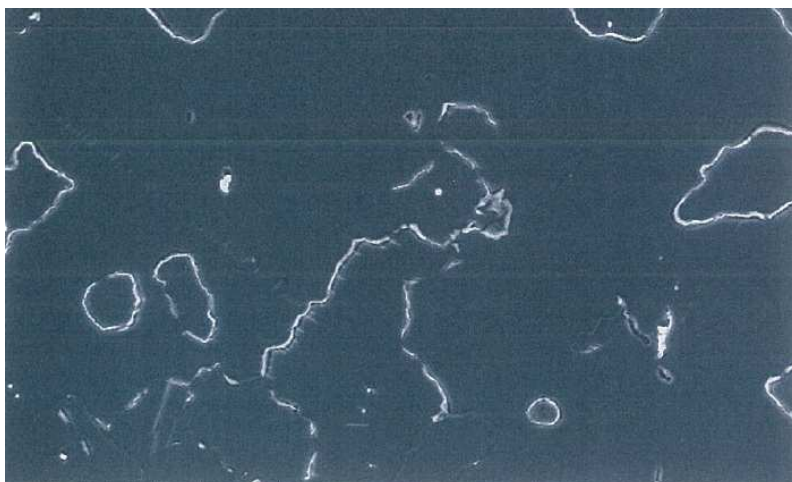
Podél svarového rozhraní došlo k zjemnění zrna (Obr. 8.21) a k zanedbatelnému deformačnímu zpevnění materiálu 13Mn-B. Makroskopicky pozorované pásmo podél linie ztavení je tvořeno pouze izolovanými ostrůvky rozpadových fází s vyšší leptatelností, k pásmové precipitaci karbidů zde nedošlo.



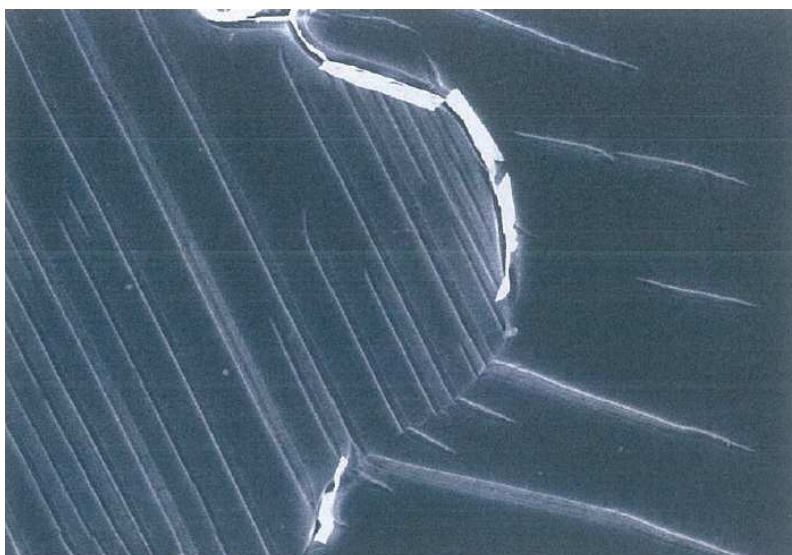
zvětšeno 250x

**Obr. 8.21** Zjemnění zrna podél svarového rozhraní oceli 13Mn-B - vz. VZ-2

Jako nežádoucí efekt svařování byla zjištěna tendence precipitace karbidů po hranicích zrn, která se v neovlivněném materiálu nenachází. Precipitace jemných desek karbidů po hranicích zrn ovlivňující rozvoj plasticity jsou vidět na Obr. 8.22.



zvětšeno 1000x



zvětšeno 5000x

**Obr. 8.22** *Distribuce karbidů v mat. 13Mn-B - vz. VZ-2*

## 9 Závěr

V rámci experimentu bylo svařeno osm zkušebních vzorků kolejnic dvou rozdílných materiálů přes CrNi mezikus. Byl navržen dochlazovací přípravek, k zamezení vzniku nežádoucího poklesu tvrdosti v TOO svaru. Dále byly provedeny kvalitativní zkoušky k ověření svarového spoje, dle požadavků příslušných norem.

Před vlastním svařením byl proveden rozbor vlastností jednotlivých částí budoucího svařence. K ověření kvality svaru kolejnic a použitých parametrů, byly provedeny kvalitativní zkoušky svarového spoje (Vizuální kontrola, kapilární zkouška, zkouška tvrdosti, zkouška ohybem, únavová zkouška a zkoušky makrostruktury a mikrostruktury).

Vizuální kontrola - po provedené kontrole byl výsledek vizuální kontroly zapsán do protokolu zkoušky. Z protokolu vyplývá, že nebyly na svarech zkušebních vzorků nalezeny žádné výrazné povrchové vady svarů.

Kapilární zkouška - zkoušené vzorky byly vyhodnoceny pracovníkem technické kontroly. Výsledek byl zaznamenán do protokolu kapilární zkoušky. Z tohoto protokolu je zřejmé, že všechny zkoušené vzorky vyhověly kritériím.

Zkouška tvrdosti - v první části byla prověřena povrchová tvrdost na hlavě kolejnice u vzorku VZ-1, na kterém byl prokázán nepříznivý vliv odporového svařování. Po zanesení hodnot do grafu závislosti tvrdosti na relativní vzdálenosti jsou viditelné dvě malé oblasti s výrazným poklesem povrchové tvrdosti. Hodnoty klesly až k 300 HBW 2,5, což přesahuje požadované kritérium 350 až 390 HBW 2,5.

V druhé části zkoušky tvrdosti byla prověřena povrchová tvrdost u zkušební vzorku VZ-2 (pozn. svar byl řízeně dochlazován). Tvrdost byla měřena na temeni hlavy kolejnice v podélné ose kolejnice a v podélném řezu osou kolejnice v hloubce 3 mm od horní hrany hlavy kolejnice. Naměřené hodnoty byly zaneseny do grafu závislosti tvrdosti na relativní vzdálenosti. Dosah změn tvrdosti přesahuje zónu austenitizace (tzn. makroskopicky evidované pásmo TOO-2). Pásmo odpevnění dosahuje cca 24 mm od linie ztavení.

Z hodnocení tvrdosti vyplývá, že z hlediska výchozí tvrdosti u materiálu jakosti R350HT (perlitická ocel) i z hlediska změn tvrdosti této oceli vlivem použité metody svařování zkoušený svarový spoj vyhovuje předepsaným kritériím. (Pozn. Použitá metoda měření tvrdosti neodrážela vliv lokálně pozorovaného pásma promísení dosahujícího tloušťky cca 300  $\mu\text{m}$ ).

Zkouška ohybem - byla provedena na třech zkušebních vzorcích. Zkušební vzorky byly zatěžovány postupně vzrůstající silou až do jejich destrukce. Po celou dobu zatěžování byly zaznamenávány hodnoty zatěžující síly a dráhy pístu hydraulického válce (průhyb zkoušeného vzorku).

Ze zkoušky byly zpracovány grafické závislosti průhybu zkušebních vzorků na zatěžující síle, fotografická dokumentace a náčrty lomových ploch. Na lomových plochách nebyly patrné žádné vady (typu studené spoje, póry, matná nebo světlá místa). Z výsledků je zřejmé, že hodnoty vyhovují stanoveným požadavkům síly a průhybu.

Únavová zkouška - byla provedena na třech zkušebních vzorcích. V případě únavové zkoušky nebyly měřené veličiny žádným způsobem zaznamenávány ani zpracovávány. Sloužily pouze pro řízení pohybu hydraulického válce centrální řídicí jednotkou.

V průběhu zkoušky nedošlo u žádného zkušebního vzorku k destrukci. Po ukončení zkoušky (do každého zkoušeného vzorku bylo vneseno  $5 \times 10^6$  zatěžovacích cyklů) byla u dvou zkušebních vzorků zjištěna trhlina v hlavě Mn kolejnice vzniklá v důsledku nadměrného kontaktního namáhání v místě styku s válečkem zatěžovacího přípravku. Oblast svaru nebyla nijak porušena.

Zkouška makrostruktury a mikrostruktury - zkoušky byly provedeny na jednom zkušebním vzorku (VZ-2). U hodnoceného svarového spoje nebyl zjištěn žádný výskyt makroskopických vad, spojených s použitou technologií svařování. Mikroskopické nespojitosti souvisely s výchozí jakostí použitých materiálů a nedosahovaly z hlediska vlivu na jakost spoje podstatný rozsah.

Strukturní změny u materiálu jakosti R350HT (perlitická ocel) nebyly spojené se vznikem nepříznivých souvislých vrstev křehkých strukturních složek. U austenitické oceli CrNi mezikusu byla zjištěna precipitace karbidů, s tendencí vylučování po hranicích zrna. S ohledem na požadované kritéria lze konstatovat, že u zkoumaného zkušebního vzorku se nejednalo o výskyt karbidů v nepřipustném rozsahu (tzn. nedošlo ke vzniku souvislé obálky zrn podél svarového spoje).

## 10 Seznam použité literatury

- [1] ČSN EN ISO 15614-1, *Stanovení a kvalifikace postupů svařování kovových materiálů - Zkouška postupů svařování - Část. 1: Obloukové a plamenové svařování ocelí a obloukové svařování niklu a slitin niklu*, Praha: Český normalizační institut, 2005, 33s.
- [2] ČSN EN 14587-3, *Železniční aplikace - Kolej - Odtavovací stykové svařování kolejnic - Část. 3: Svařování v souvislosti s výrobou srdcovek*, Praha: Český normalizační institut, 2012, 40s.
- [3] ČSN EN 13674-1, *Železniční aplikace - Kolej - kolejnice - Část. 1: Vignolovy železniční kolejnice o hmotnosti 46 kg/m a větší*, Praha: Český normalizační institut, 2011, 104s.
- [4] Jakube Jan, *Bakalářská práce - Vliv odporového svařování na strukturní a pevnostní parametry oceli pro zušlechťování*, Univerzita Pardubice - Dopravní fakulta Jana Pernera, 2011, 42s.
- [5] Zíka Luboš, *Diplomová práce - Lokalizace vad svarů jeřábů*, VÚT Brno - Fakulta strojního inženýrství, 2012, 62s.
- [6] H.A. Schlatter AG, *Návod k obsluze - Svářečka natupo odtavením GAA 100/580*, Switzerland, 2001, 112s.
- [7] H.A. Schlatter AG, *Technická specifikace - Svářečka natupo odtavením GAA 100/580*, Switzerland, 2001, 16s.
- [8] *Technické podmínky dodací - pro hrubé odlitky z austenitické manganové oceli, TPD-202-360-11*, 2012, 20s.
- [9] *Technické podmínky dodací - pro výrobu, přejímání a dodávání odlitků kolejnic z materiálu X8CrNi20-8, TPD-187/06*, 2008, 25s.
- [10] *Technické podmínky dodací - Vignolovy železniční kolejnice, TPD-202-30-07*, 2.vydání, 2008, 43s.
- [11] Polednová R., Šmída F., *Technologický předpis č. 127 - Svařování odlévaných srdcovek z materiálu 13Mn*, DT-Výhybkárna a strojírna, a.s., Prostějov, 2011, 15s.
- [12] Koukal J., Zmydlený T., *Svařování I.*, VŠB-TU Ostrava, 2005, ISBN 80-248-0870-6, 136s.

- [13] Koukal J., Schwarz D., Hajdík J., *Materiály a jejich svařitelnost*, Učební texty, VŠB-TU Ostrava, 2009, ISBN 978-80-248-2025-5, 240s.
- [14] Hrivňák I., *Teória zvaritelnosti kovov a zliatin*, VSAV Bratislava, 1989, ISBN 80-224-0016-5, 344s.
- [15] Kovařík R., Černý F., *Technologie svařování*, ZČU v Plzni, Plzeň, 2000, Učební texty, 119s.
- [16] Hartmann M., *Stykové svařování kolejnic jakosti R350HT (HSH)*, věstník „Železniční dopravní cesta 2012“ Děčín, 2012, 4s.
- [17] *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce*, Garant dokumentu: 300 - Děkan, VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, 2011, 16s.
- [18] Webové stránky <http://www.dtmv.cz/>
- [19] Webové stránky: [http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TE1/def\\_kontrola\\_sv.pdf](http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TE1/def_kontrola_sv.pdf)
- [20] Webové stránky: <http://fs1.vsb.cz/~hla80/>
- [21] Webové stránky: [http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2009-2\\_Hodnocen%C3%AD%20svarov%C3%BDch%20spoj%C5%AF.pdf](http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2009-2_Hodnocen%C3%AD%20svarov%C3%BDch%20spoj%C5%AF.pdf)

## 11 Seznam obrázků

Obr. 3.1	<i>Svaření přípojných kolejnic k odlitku srdcovky - stykově s odtavením</i> .....	14
Obr. 3.2	<i>Aluminotermické svařování - blok svařený s přípojnými kolejnicemi</i> .....	15
Obr. 3.3	<i>Svařování přípojných kolejnic</i> .....	16
Obr. 3.4	<i>Provedený návar na Mn srdcovce</i> .....	17
Obr. 4.1	<i>Princip metody - svařování stykové s odtavením</i> .....	19
Obr. 4.2	<i>Odstranění svarového výronku</i> .....	22
Obr. 4.3	<i>Struktura svarového spoje</i> .....	23
Obr. 5.1	<i>Svařovací stroj</i> .....	26
Obr. 5.2	<i>Řídící skříň zařízení</i> .....	27
Obr. 7.1	<i>Vzorek svařených kolejnic VZ-7</i> .....	39
Obr. 7.2	<i>Odlitek kolejnice CrNi mezikusu - s opracovanými konci pro svaření</i> .....	41
Obr. 7.3	<i>Zařízení k řízenému ochlazování svarů kolejnic</i> .....	44
Obr. 7.4	<i>Svařovací stroj typ GAA 100/580</i> .....	45
Obr. 7.5	<i>Kolejnice 60E1 s přivařeným CrNi mezikusem</i> .....	46
Obr. 7.6	<i>Přivaření odlitku kolejnice materiálu 13Mn-B</i> .....	46
Obr. 7.7	<i>Svařené zkušební vzorky (VZ-3 až VZ-8)</i> .....	47
Obr. 8.1	<i>Kapilární zkouška</i> .....	49
Obr. 8.2	<i>Vzorek VZ-1 - měření tvrdosti</i> .....	50
Obr. 8.3	<i>Tvrdost na povrchu hlavy kolejnice - vz. VZ-1</i> .....	50
Obr. 8.4	<i>Tvrdost na povrchu hlavy kolejnice - vz. VZ-2</i> .....	52
Obr. 8.5	<i>Tvrdost v podélném řezu kolejnice - vz. VZ-2</i> .....	52
Obr. 8.6	<i>Zkušební zařízení Schenck pro zkoušku ohybem</i> .....	53
Obr. 8.7	<i>Schématické znázornění zkušebního zařízení únavové zkoušky</i> .....	55
Obr. 8.8	<i>Tenzometrický snímač umístěný na patě kolejnice v místě svaru</i> .....	57
Obr. 8.9	<i>Makroskopický snímek svarového spoje - vz. VZ-2</i> .....	58
Obr. 8.10	<i>Oblast promísení a plastické přetvoření na hranici ztavení-hlava - vz. VZ-2</i> .....	59
Obr. 8.11	<i>Oblast promísení a plastické přetvoření na hranici ztavení-pata - vz. VZ-2</i> .....	59
Obr. 8.12	<i>Zjemnění zrna u materiálu 13Mn-B podél hranice ztavení - vz. VZ-2</i> .....	60
Obr. 8.13	<i>Typická mikrostruktura tepelně neovlivněné oceli R350HT - vz. VZ-2</i> .....	61
Obr. 8.14	<i>Oblast sulfidů v TOO oceli R350HT - vz. VZ-2</i> .....	61
Obr. 8.15	<i>Oblast sulfidů - přechod z TOO do zákl. mat. oceli R350HT - vz. VZ-2</i> .....	62
Obr. 8.16	<i>Mikroskopické nespojitosti v mat. mezikusu (X8CrNi20-8) a výskyt ostrůvku martenzitu v oceli R350HT - vz. VZ-2</i> .....	62
Obr. 8.17	<i>Zjemnění zrna a oduhličení u oceli R350HT - vz. VZ-2</i> .....	63

Obr. 8.18	<i>Mikroskopické nespojitosti v mat. mezíkovu (X8CrNi20-8) - vz. VZ-2</i> .....	63
Obr. 8.19	<i>Chemická mikroanalýza nespojitostí v mat. X8CrNi20-8 - vz. VZ-2</i> .....	64
Obr. 8.20	<i>Výskyt mikroředin v TOO oceli 13Mn-B - vz. VZ-2</i> .....	65
Obr. 8.21	<i>Zjemnění zrna podél svarového rozhraní oceli 13Mn-B - vz. VZ-2</i> .....	65
Obr. 8.22	<i>Distribuce karbidů v mat. 13Mn-B - vz. VZ-2</i> .....	66

## 12 Seznam tabulek

Tab. č. 1:	<i>Technické parametry osvětlovadla</i> .....	28
Tab. č. 2:	<i>Kritérium - chemické složení materiálu 13Mn-B v % hmotnosti</i> .....	40
Tab. č. 3:	<i>Chem. sl. materiálu 13Mn-B použitého pro zk. vzorky v % hmotnosti</i> .....	40
Tab. č. 4:	<i>Kritérium - chemické složení materiálu X8CrNi20-8 v % hmotnosti</i> .....	41
Tab. č. 5:	<i>Chemické složení materiálu X8CrNi20-8 v % hmotnosti</i> .....	42
Tab. č. 6:	<i>Kritérium - chemické složení kolejnice jakosti R350HT v % hmotnosti</i> .....	42
Tab. č. 7:	<i>Chem. sl. kolejnic jakosti R350HT použitých pro zk. vzorky v % hmotnosti</i> .....	43
Tab. č. 8:	<i>Ohybová zkouška - max. hodnoty síly a průhybu při porušení zk. vzorků</i> .....	54
Tab. č. 9:	<i>Povrchové napětí v patě kolejnice při zatížení maximální silou</i> .....	57

## 13 Seznam příloh

Příloha A	- Specifikace svářečky natupo odtavením typ GAA 100/580
Příloha B	- Klasifikace vad ve svarových kovech
Příloha C	- Protokol penetrační zkoušky
Příloha D	- Výsledky zkoušky měření tvrdosti
Příloha E	- Výsledky zkoušky ohybem
Příloha F	- Fotodokumentace vzorků po provedené únavové zkoušce
Příloha G	- Svařování programy
Příloha H	- Průběh svařování zkušebního vzorku VZ-3